

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) – Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Изменения свойств износостойких нитридных покрытий при ионно-плазменном напылении в зависимости от материала катода испарителя

УДК 621.793.182.661.55

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Кайролла Ербулан Адилжанулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гончаренко Игорь Михайлович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
15.04.01 «Машиностроение»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, nano технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
Универсальные компетенции	
P6	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P9	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) – Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Е.Н.

Коростелева

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Кайролла Ербулану Адилжанулы

Тема работы:

Изменения свойств износостойких нитридных покрытий при ионно-плазменном напылении в зависимости от материала катода испарителя
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образцы нержавеющей стали 12Х18Н10Т, покрытия TiAlN, TiAlSiN, TiCuN.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация, свойства и методы получения износостойких покрытий; 2. Методика эксперимента; 3. Влияние режима напыления поверхности нержавеющей стали 12Х18Н10Т на механические свойства нитридных покрытий; 4. Морфология и физико-механические характеристики экспериментальных покрытий TiAlN, TiAlSiN, TiCuN.

Перечень графического материала	Презентация в Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Е.В.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко И.М.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Кайролла Е.А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа представлена на 113 страницах, включает 13 иллюстраций, 40 таблиц, 49 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: нитридные покрытия, ионно-плазменный разряд, толщина, твердость, модуль Юнга, адгезия.

Объектом исследования являются, сформированные ионно-плазменным методом покрытия, на предварительно легированной подложке.

Цель работы: исследование процессов формирования износостойких покрытий при вакуумно-дуговом распылении многокомпонентных катодов различных составов. Получение экспериментальных данных об особенностях режимов, влияющих на функциональность пленочных материалов. Сопоставление физико-механических характеристик поверхностей образцов с покрытиями.

Результаты стойкостных испытаний композиций «покрытие-подложка» сопоставлялись с результатами исследований твердости, морфологии поверхности, толщины, текстуры, остаточных напряжений в поверхностных слоях образцов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Метод Виккерса: метод измерения твердости металлов и сплавов по Виккерсу. Регламентируется ГОСТ 2999-75 и ISO 6507.

Индентор: элемент прибора для измерения твердости, вдавливаемый в испытываемый материал. Иногда инденторами называют сами приборы для измерения твердости.

Ионно-плазменный метод нанесения покрытий: это физический метод нанесения покрытий в вакууме, с помощью конденсации на подложку материала из плазменных потоков, возникающих на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги.

Дуговой разряд: один из видов электрического разряда в газе.

Модуль Юнга: физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации.

Адгезия: сцепление поверхностей разнородных твёрдых или жидких тел.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

PVD – метод физического осаждения;

CVD – химическое осаждение из газовой фазы;

Оглавление

Введение	9
1 Классификация и методы нанесения износостойких покрытий	11
1.2 Ионно-плазменный метод получения покрытий	13
1.3 Нитрид титана	14
1.4 Особенности формирования сверхтвердых нитридных покрытий из плазмы дугового разряда	15
1.5 Влияние параметров ионно-плазменных установок на свойства тонких пленок	16
1.6 Механические свойства многокомпонентных покрытий	18
1.7 Методы генерации многокомпонентной плазмы	18
1.8 Цели работы и поставленные задачи	20
2 Методика проведения экспериментов и исследование свойств покрытий, оборудования для нанесения покрытий	22
2.1 Материал исследования	22
2.1.1 Катоды-мишени для напыления покрытий	23
2.1.2 Используемые газы	24
2.2 Экспериментальная установка для ионно-плазменного нанесения покрытий	24
2.2.3 Технология ионно-плазменного напыления покрытия на поверхность стали 12Х18Н10Т в установке ННВ-6.6	26
2.3. Контроль качества ионно-плазменного напыления	28
2.3.1 Определение толщины покрытий методом «калотест»	28
2.3.2 Методики определения микротвёрдости материалов	29
2.3.3. Методика измерения модулей упругости тонких покрытий	30
2.3.4 Методики определения адгезии материалов	30
3. Сравнительный анализ основных физико-механических свойств покрытий	32
3.1 Формирование нитридных покрытий	32

3.2 Влияние параметров процесса на свойства покрытий	34
3.2.1 Измерения скорости роста покрытия поверхности в зависимости от режима напыления	34
3.2.2 Микротвердость поверхности образцов с нитридными покрытиями в зависимости от параметров напыления	35
3.2.3 Механические и упругие свойства пленочных покрытий, выявленные при малых испытательных нагрузках в результате динамического индентирования поверхностей	38
3.2.4 Измерение адгезии	41
3.2.4 Адгезионная прочность покрытий	41
3.2.4 Измерение стойкости полученных покрытий	46
4. «Социальная ответственность»	50
5. «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	70
Заключение	92
Список публикаций	94
Список использованной литературы	95
Приложение А	102

Введение

Постоянно возникающий дефицит материалов требует необходимость поиска новых, подходящих материалов и технологий, в частности, технологий нанесения сверхтвердых покрытий. Важную роль играют метод нанесения вакуумно-дуговых или их также называют ионно-плазменным покрытием нитридов переходных металлов. Но возможности улучшения твердости верхних слоев при нанесении обычных нитридов имеют ограничения.

В последнее время особое внимание уделяется разработке и исследованию многокомпонентных покрытий с более совершенными механическими свойствами (в частности высокой твердостью) и повышенной термической стабильностью. Названные покрытия образуются путем структурной самоорганизации материалов.

За счет сверхмелкой структуры повышается твердость покрытий, характерной для композиционных пленок.

Одной из наиважнейших проблем является, повышение физико-механических свойств защитных покрытий, которое позволяет улучшить эксплуатационные свойства режущих материалов. Это влечет за собой потребность исследования закономерностей трансформации структуры пленок тугоплавких соединений в состояний нагрева.

Следовательно, исследование упругости и прочности, тонких ионно-плазменных пленок представляется одной из самых актуальных научной и практической дилеммой современной инженерии.

Все больше значение приобретает борьба с ранним износом инструмента и деталей. Это связано с развитием технологических процессов, большинство которых происходят в агрессивных средах, с увеличением нагрузок и температур. Из-за этого едва ли не в каждом металлообрабатывающем производстве довольно хорошо известна проблема упрочнения поверхности деталей машин, штампового и режущего

инструмента. Изменить свойства поверхности в необходимом направлении можно различными способами, в том числе и формированием на поверхности разнообразных деталей и инструменте всякого рода функциональных покрытий. В последнее время значительно вырос научный и прикладной интерес к материалам в многокомпонентном состоянии, и, в частности, к покрытиям с многокомпонентной структурой. Наиболее перспективным с точки зрения качества и стоимости получения многокомпонентных покрытий, а также скорости их формирования представляется метод плазменно-ассистированного осаждения покрытия из плазмы дугового разряда, основная концепция которого была выдвинута сотрудниками Института сильноточной электроники по результатам НИР, выполняемых в предыдущие годы в рамках федеральных научно-исследовательских программ.

Износостойкость покрытий только часть причин повышения стойкости инструмента. Косвенным доказательством тому, о чем будет сказано ниже, является повышение стойкости омедненных инструментов. Более того, нанесение покрытий происходит при высоких температурах, при которых, как установлено, протекают изменения свойств приповерхностных и глубинных слоев материала инструмента, благоприятно влияющих на сопротивляемость изнашиванию. Поэтому нанесение износостойких материалов является как бы комбинированным методом повышения работоспособности инструмента, термическое упрочнение + износостойкое покрытие. При этом для каждого конкретного условия работы (обрабатываемый материал, скорость резания и др.) существует свое покрытие, оптимальное по воздействию.

В настоящей работе представлены результаты исследований свойств нитридных покрытий, полученных ионно-плазменным методом. Значимое внимание уделялось анализу влияния режимов на получаемых покрытиях на подложках из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

1 Классификация и методы нанесения износостойких покрытий

Износостойкие покрытия условно можно классифицировать по нескольким параметрам:

1) По классу материала покрытия:

Таблица 1 Класс материал покрытия

Класс материала износостойкого покрытия	Свойства износостойкого покрытия
Карбиды	<ul style="list-style-type: none">- высокая твердость- теплостойкость- хрупкость
Нитриды	<ul style="list-style-type: none">- высокая коррозионная стойкость- термодинамическая устойчивость ниже, чем у карбидов- низкая сопротивляемость к высокотемпературному окислению и коррозии- высокая пластичность- низкая хрупкость
Оксиды	<ul style="list-style-type: none">- твердость, как у нитридов- высокая сопротивляемость коррозии и высокотемпературному окислению- низкая хрупкость

2) По количеству слоев нанесения:

- однослойные
- многослойные

Свойства и состав износостойких покрытий в значительной степени зависят от технологии их нанесения. Методы создания износостойких покрытий посредством осаждения можно подразделить на физические (PVD) и химические (CVD). Они в свою очередь, также подразделяются во множество методов нанесения, в том числе комбинированных методов с поддержкой или активацией процесса от других источников энергии.

Процессы PVD и CVD, как и следует из их названия, основываются совсем в различных по сути явлениях. Конечный итог и в первом и во втором случае, это – осаждение из газовой фазы материала покрытия на подложку.

Материал покрытия при физическом осаждении (PVD) переходит из твердого состояния в газовую фазу в результате испарения под воздействием тепловой энергии, или в результате распыления за счет кинетической энергии столкновения частиц материала. Энергия, и плотность частиц определяются методом нанесения, параметрами процесса и формой источника частиц. Нанесение покрытий методом PVD осуществляется при температуре от 50°C до 1500°C. Это практически не накладывает ограничения по материалу на которые наносится покрытие. Особенную важность это проявляет при нанесении покрытия на быстрорежущую сталь, так как температура процесса не превышает температуру отпуска закаленной стали, которая достигает около 550°C. PVD-процессы проводятся в вакууме или в атмосфере рабочего газа при достаточно низком давлении. Это облегчает задачу переноса частиц от источника (мишени) к изделию (подложке) при минимальном количестве столкновений с атомами или молекулами газа. Это же самое условие предопределяет обязательность прямого потока частиц. В этом случае скорость осаждения в многом зависит от относительного расположения материала и источника.

Для равномерного нанесения покрытия необходимо систематизированное движение материала или применение нескольких, определенным образом расположенных, источников.

Ключевыми факторами, при получении покрытий высокого качества методом физического осаждения (PVD), являются необходимый уровень вакуума, чистота исходных материалов и реакционного газа.

1.2 Ионно-плазменный метод получения покрытий

Антифрикционные покрытия можно получить несколькими методами. Так же используя несколько методов напыления можно ввести в них дополнительные легирующие элементы. Аналогичная ситуация касается и при осаждении трибологических покрытий. Данными методами могут послужить, газотермическое напыление, диффузионное насыщение, электролитическое осаждение и другие. Но, несмотря на все эти методы, метод ионно-плазменного вакуумного осаждения занимает особое место.

Основным техническим составляющим новых достижений в области инженерии поверхности является ионно-плазменное осаждение. Этим методом можно достигнуть получения новых подложек покрытия с низкой шероховатостью и с комбинацией свойств, необходимых для эксплуатации готовых изделий.

Отличительной чертой данных методов является, возможность получить многокомпонентные покрытия различных составов, минимальное изменение в геометрии и нагревом подложки, высокое качество покрытия.

Так же с помощью этого метода можно создать на поверхности подложек покрытия с заданной комбинацией свойств, которые необходимы в свою очередь для эксплуатации уже готовых изделий [9-10].

Трудности во время процесса ионно-плазменного напыления могут возникнуть в том случае, если катодное пятно довольно долго останется в точке испарения. Это доводит до эмитирования большого количества капельной фазы или макрочастиц. Так как эти макровключения имеют плохое сцепление с подложкой и по размерам тоже превосходят толщину, то они

могут снизить характеристики. Более худшим исходом может оказаться, если у материала катода-мишени низкая температура плавления

Чтобы решить данные проблемы необходимо произвести одним или другим способом постоянное перемещение катодного пятна по массивному и большому катоду, который имеет довольно - таки большие показатели линейных размер. В чаще всего для управления перемещения катодных пятен по поверхности катода использую магнитные поля. Так же, при использовании цилиндрических катодов, во время испарения им можно сообщать вращательное движение. На ряду с этим использование катода из легкоплавких не позволит катодному пятну оставаться на одном месте долгое время, и при этом уменьшается количество нежелательной капельной фазы[11].

1.3 Нитрид титана

Нитрид титана – твердый керамический материал с кристаллической структурой NaCl. Структура состоит из ковалентных, металлических и ионных связей. Ковалентная связь является объяснением высокой твердости приблизительно 20 ГПа, измеренной на монокристаллах. Когда нитрид титана осаждается дуговым испарением, метод, используемый в данной работе, твердость достигает примерно 26 – 30 ГПа в связи с дефектами решетки, индуцированными условиями осаждения. Материал можно получить как в результате физического осаждения из паровой фазы (PVD), так и химического. Он имеет блестящий внешний вид и золотой цвет, как и большинство других керамических материалов, относительно хорошие механические и тепловые свойства. Нитрид титана окисляется при довольно высокой температуре (выше 450 °C), что является одним из его главных недостатков при использовании в качестве покрытия инструмента. Испарение нитридной

пленки в инертной атмосфере, приводит к уменьшению его внутренней твердости вследствие аннигиляции дефектов и релаксации напряжений.

1.5 Особенности формирования сверхтвердых нитридных покрытий из плазмы дугового разряда

Материалы и изделия с модифицированной поверхностью или покрытиями различного назначения вызывают чрезвычайно широкий интерес для практических применений в технической деятельности большинства промышленно развитых стран. Научное обоснование и разработка новых методов поверхностной обработки материалов и способов прогноза модификации их физико-механических свойств является важнейшим направлением создания новых материалов.

Предметом данной работы являются оптимизация технологических режимов электродугового плазменно-ассистированного процесса в вакууме и результаты получения сверхтвердых износостойких покрытий Ti-N, Ti-N-Cu и Ti-Al-N на поверхности материалов.

Во время процесса изучались механизмы и закономерности синтеза, проводились экспериментальные исследования механических свойств покрытий при различных параметрах электродугового плазменно-ассистированного процесса. В результате выполненного исследования выявлены оптимальные режимы формирования на поверхности материалов сталей, сверхтвердых (35-40 ГПа) покрытий Ti-Al-Si-N, Ti-Cu-N и Ti-Al-N толщиной 1-3 мкм; установлены закономерности эволюции твердости в зависимости от режимов ионно-плазменной обработки и составов порошковых спеченных катодов.

Проведенные исследования дополняют известные результаты по развитию физических основ эффективных методов генерации

низкотемпературной плазмы и созданию опытно-промышленных установок для ионно-плазменной обработки материалов и изделий.

1.5 Влияние параметров вакуумно-дуговых установок на свойства тонких пленок

Спецификой протекания процессов формирования покрытия, свойствами материала покрытия и подложки определяется процесс нанесения покрытия на поверхность. Существует две группы методов нанесения покрытий: химического осаждения из паровой фазы и физические. Наиболее эффективным методом получения покрытия или тонких пленок, как их называют за необыкновенно малые толщины в несколько микрометров (мкм), является метод физического осаждения.

Большой интерес проявляется по отношению к тонким пленкам из титана и на основе титана. Нитриды титана, например, широко используется в качестве твердых износостойких покрытий на стальных деталях машин, в том числе компрессорных, для режущего инструмента, диффузных барьеров в электронике, декоративных и коррозионных покрытий. Обусловлено это тем, что нитрид титана обладает высокой твердостью, износостойкостью и модулем упругости, химически стабилен.

Используя ионную бомбардировку и эффект перемешивания, можно контролировать текстуру, размер зерен, шероховатость, цвет и другие свойства пленок. Меняя параметры установок, возможно изменять свойства покрытий. Это важно, поскольку их применение в различных областях промышленности преследуют разные цели.

Довольно низкую толщину слоя имеют пленки диоксида титана менее 200 нм, получаемые ионной имплантацией при токе дуги 100 А. При изменении тока дуги на 120 А толщина изменяется до 500 нм.

Исследование износостойкости и фрикционных свойств трущихся поверхностей при трении наиболее распространенного покрытия TiN и некоторых других, полученных методом вакуумно-дугового напыления показали их высокую износостойкость и возможность получения относительно низких значений коэффициентов трения покрытий. Сравнение результатов испытаний нитридов Ti, Al показывает, что наиболее износостойким является покрытие AlN. Износостойкость нанокompозитного покрытия (TiN-AlN) такая же, как покрытия AlN. Меньше изнашивающая способность и у нанокompозитного покрытия (AlN-Ti). Наиболее высокую износостойкость показало покрытие (TiN-AlN).

Одной из важнейших характеристик покрытий является прочность их сцепления с подложкой или адгезия. Характеристика адгезии покрытий TiN слабо зависит от твердости материала подложки. В пленках Cu и Al толщиной до 0,3 мкм на силы адгезии изменялись в зависимости от материала подложки и покрытия. При исследовании образцов из стали 12X18H10T с покрытиями из Ti-Al-N, Ti-Cu-N было установлено, что при низких давлениях азота коэффициент адгезии максимален и приравняется к единице $\rho = 2 \cdot 10^{-1}$ Па, а с увеличением давления азота, когда состав TiN близок к стехиометрическому, коэффициент адгезии уменьшается до 0,25 – 0,35. Изменение адгезионных свойств с давлением азота находится в обратной зависимости от изменения стойкости инструмента с покрытием TiAlN при резании. Таким образом, оценка адгезионных характеристик покрытий позволяет оптимизировать технологические параметры получения пленок.

Перераспределение соотношения содержания фаз в покрытиях с повышением давления является результатом преимущественного синтеза нитридов титана по сравнению с нитридами алюминий вследствие более высокого сродства титана с азотом. Существенную роль в изменении структурно-фазовых характеристик играют также сочетания значений параметров осаждения ускоряющего потенциала и напряженности

фокусирующего магнитного поля. В зависимости от химического состава покрытия будет меняться и цвет.

1.6 Механические свойства многокомпонентных покрытий

Многокомпонентные покрытия характеризуются их твёрдостью H , эффективным модулем Юнга $E^* = E/(1-\nu)^2$ и упругим восстановлением We , где E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона[1,6]. Данные величины можно рассчитать по кривым, измеренные динамическим нанотвердомером. Величины H и E^* пропорциональны сопротивлению материала пластической деформации. Зависимости $H = f(E)$, $H/F = f(H)$, $We = f(H)$ – это основные соотношения, определяющие механические свойства тонких плёнок. Они зависят от элементов, формирующих фазы, от относительного содержания фаз и их микроструктуры.

1.7 Методы генерации многокомпонентной плазмы

Ионно-плазменный синтез износостойких покрытий, имеющих сложный элементный состав, плазма, генерируется способом распыления нескольких катодов, в каждом из которых имеется свой элементный и химический состав. С помощью трудоемкого и сложного подбора технологического режима распыления каждого из катодов, давления и состава рабочего газа возможно достижение необходимого элемента состава потока. Однако создание равномерных перемешивание потоков не всегда получается так как надо, генерирующихся разными катодами. Результаты по синтезу покрытий Ti-Al-N приведены в работе[18].

Для получения нитридных покрытий были использованы катоды из титана (Ti) и алюминия (Al) в парах смеси азота с аргоном, ну или просто азота. Полученные наноструктурные покрытия имеют неоднородность как по

составу, так по и толщине. Более равномерные распределения химических элементов и толщины конденсатов по поверхности обрабатываемых образцов, генерируемых двумя катодами можно получить путем послойного осаждения потоков. Но для этого необходимо чтобы источники расположились на боковой поверхности рабочей камеры, а во время осаждения должен выполняться процесс быстрого и равномерного вращения детали перед ними и вокруг своей оси. При формулировке многокомпонентных слоев осаждения и перемешивания слоев, подается потенциал смещения на подложку около 50...200 В, которая сопровождается ионной бомбардировкой поверхностей. Достижения хороших результатов даже без вращения подложки осуществляется благодаря осаждению нитрида титана с включениями алюминий и кремния Ti-Al-Si-N. Альтернативный вариант подхода к генерации многокомпонентной плазмы может быть реализован путем замены нескольких катодов одним, который содержит все необходимые компоненты в нужном соотношении. Такая замена повышает однородность генерируемой плазмы, надежность работы технологического оборудования и, а также существенно упрощает его конструкцию для нанесения износостойких покрытий. Но технологии металлургии, включающие обработку резанием, ковку и литье не подходят для большого количества составов. К примеру, нитриды систем Ti-Cu-N, Ti-Al-Si-N, Ti-Al-N имеют высокие значения твердости и жаропрочности, но сильная ликвация при выплавке и высокая хрупкость таких сплавов напрочь исключает способность получить пластичный материал с однородной структурой, пригодный для его механической обработки.

На сегодняшний день, как правило, используются сплавные катоды сложной структуры двух типов. В первых случаях, применение находят мозаичные катоды, в которой материал – основу катода помещают включения другого вещества. А вторым типом являются сложные композиционные катоды, получаемые благодаря порошковым технологиям. Из смеси порошков

формируется катод необходимого состава путем холодного прессования и спекания, изостатического горячего прессования (HIP) или самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (SHS).

Следует уделить особое внимание группе современных промышленных вакуумно-дуговых технологических установок. Их конструкция основана на использовании вращающихся катодов (LARCÒ-технология) [19]. Их отличие от традиционных планарных катодов, является цилиндрическая форма вращающихся катодов. Присутствие сильного аксиально-симметричного магнитного поля позволяет быстро перемещать катодное пятно по рабочей поверхности мишени (с частотой около 1 кГц), за счет чего удастся достичь равномерной эрозии катодов, а, главное, уменьшить присутствие капельной фракции в формируемых пленках, а также добиться равномерного осаждения покрытия на деталь. Хорошее перемешивание компонентов в плазме обеспечивается за счет быстрого перемещения катодного пятна.

1.9 Цель работы и постановка задач

Цель представленной работы заключается в исследовании изменений основных физико-механических свойств защитных нитридных покрытий в зависимости от режимов напыления

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести процесс напыления на экспериментальные образцы Ti-Al-Si-N, Ti-Al-N, Ti-Cu-N покрытий разной толщины при разных режимах напыления ($t=0.5-2$ ч, $U_{см}=0-300$ В) ионно-плазменным методом.

2. Провести оценку функциональных характеристик исследуемых покрытий. В частности, измерить толщину, микротвердость (HV) в диапазоне испытательных нагрузок от 20 до 500 г, определить нанотвердость (H), модуль

Юнга (E), провести испытания на адгезионную прочность (Lc) экспериментальных покрытий.

3. Сопоставить результаты экспериментальных данных параметров адгезии с результатами расчетных значений пластической деформации и сопротивления пластической деформации, полученными из результатов по тестированию твердости поверхностей образцов с покрытиями динамическим методом Оливера-Фара.

4. Сравнить результаты испытаний на стойкость исследуемых покрытий с особенностями и параметрами технологических процессов их формирования.

2. Методика проведения экспериментов и исследование свойств покрытий

2.1 Материал исследования

Для проведения эксперимента были выбраны образцы из нержавеющей стали 12Х18Н10Т в виде шайб. Размер $d_{\text{шайба}} = 20$ мм, $h=8$ мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a=0,02$ мкм.

Это немагнитная сталь аустенитного класса. Находит широкое применение в медицинском оборудовании и пищевой промышленности. В наших экспериментах сплав 12Х18Н10Т был выбран в качестве модельного материала подложки, на котором можно проводить сравнительные исследования свойств защитных нитридных многокомпонентных покрытий. Выбор обусловлен гомогенностью материала, удобством подготовки исследовательских образцов и высокой коррозионной стойкостью.

Химический состав стали регламентируется ГОСТом 5632-72. Главным элементом стали является железо (Fe). Кроме железа, в состав 12Х18Н10Т входят химические элементы в следующем процентном соотношении: титан (Ti) около 0.8%, хром (Cr) около 18%, никель (Ni) около 10%, кремний (Si) не более 0.8%, медь (Cu) до 0.03%, сера (S) менее 0.02%, фосфор (P) 0.035% марганец (Mn) менее 2%, и углерод (C) менее 0.12%.

Детали, изготовленные из этой марки стали, можно эксплуатировать в различных агрессивных средах, а также при достаточно высоких температурах (вплоть до $+600^{\circ}\text{C}$). В зарубежной научно-технической литературе данный материал встречается под аббревиатурой «SUS316».

2.1.1 Катоды-мишени для напыление покрытий

В представленной работе рассматриваются варианты синтеза покрытий из многокомпонентной плазмы, генерируемой ионно-плазменным распылением катодов системы Ti-Al-Si, Ti-Al, Ti-Cu (Рисунок 2.1).

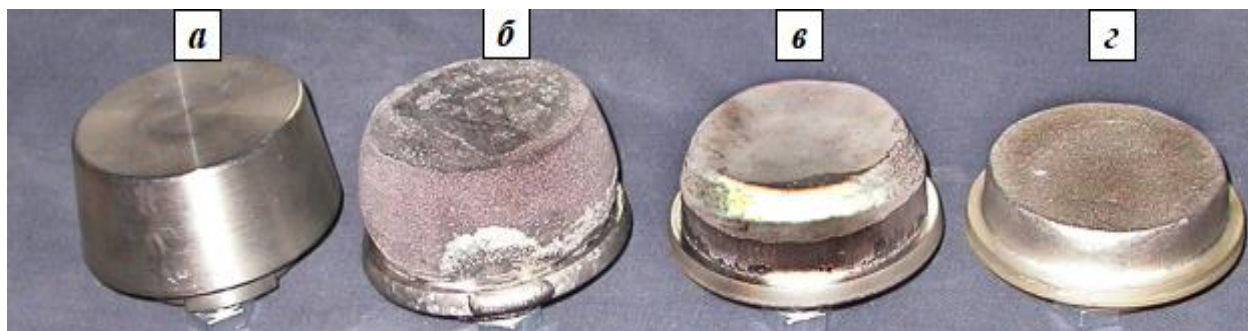


Рисунок 2.1 – Композиционные катоды используемые в экспериментах: а) – стандартный катод для дугового испарителя марки ВТ-1-0; б) – композиционный порошковый катод системы Ti-Al; в) – композиционный порошковый катод системы Ti-Al-Si; г) – композиционный порошковый катод системы Ti-Cu после нескольких циклов распыления.

Источником плазмы являются катодные пятна, образованные на рабочей поверхности катода. Продукты эрозии металлического катода разлетаются по всему пространству вакуумной камеры и осаждаются в виде конденсата на обрабатываемые детали в виде пленок толщиной 1-10 мкм [14, 15].

Установлено, что одним из перспективных подходов для формирования многокомпонентных слоев и покрытий с уникальными эксплуатационными характеристиками является использование многокомпонентных (2 и более) композиционных катодов (рисунок 2.1).

За счет одновременного или последовательного испарения вещества с многокомпонентного катода, рост кристаллов стойких нитридов, например, TiN, формирующейся на субстрате из плазменного потока поликристаллической пленки будет ограничиваться по поверхности границ монослоями атомов металла, например, Cu, не вступающего во

взаимодействие ни с титаном, ни с азотом. Катодное пятно, хаотически перемещающееся по поверхности интегрально холодного катода, получаемого методами прессования или спекания из мелкодисперсных порошков нескольких металлов, имеющих различные теплофизические свойства, будет испарять эти материалы [16-17]. Причем скорость испарения, а также процессы ионизации испаренных атомов, должны зависеть как от основных химических и физических свойств элементов, входящих в состав, так и от структурно-фазового состояния композиционного многокомпонентного катода: дисперсности используемых порошков, степени однородности перемешивания, характера взаимодействия (диффузия, химические соединения), пористости и т.д. Важным параметром является, конечно же, ток дуги. На скорость испарения компонентов и количество генерируемых пятном микрокапель влияет и интенсивность охлаждения катода.

2.1.2 Используемые газы

Для процессов ионно-плазменного напыления покрытий использовались газы:

- Азот газообразной особой чистоты 99,999 %, ГОСТ 9293-74
- Аргон газообразный высокой чистоты 99,999 %, ГОСТ 10157-79

2.2 Экспериментальная установка для ионно-плазменного нанесения покрытий

Основным предназначением установки ННВ-6,6 является нанесения упрочняющих моно и многослойных покрытий на множество деталей и инструментов широкой номенклатуры способом конденсации вещества с ионной бомбардировкой. Для успешной работы установки есть несколько необходимых правил, то есть рабочая среда, которая окружает установку, не

должна содержать пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих металлы и изоляцию, и так же не должна быть взрывоопасной.

Формирование тонких (толщиной не более 5 мкм) покрытий Ti-Al-Si-N, Ti-Cu-N и Ti-Al-N проводили с помощью вакуумной установки ННВ-6 в плазме дуговых разрядов низкого давления.

При формировании многокомпонентной плазмы используется источник металлической плазмы из катодного пятна вакуумно-дугового разряда или же просто электродуговой испаритель. В свою очередь электродуговой испаритель оснащён композиционными порошковыми катодами, и источниками газоразрядной плазмы на основе несамостоятельного дугового разряда низкого давления, которые обеспечивают активацию рабочего газа (блок-схема представлена на рис.2.3).



Рисунок 2.2 – Общий вид экспериментальной установки ННВ-6

Температура плавления титана – 1670 °С, а алюминия – 660 °С. При токах дугового разряда порядка 20-10А, обеспечивающих производительность напыления, катодное пятно перемещающееся по поверхности легкоплавкого материала образует большие объемы расплавленного металла. Из этих

участков наряду с ионами и электронами выплескивается часть расплава, которая устремляется на поверхность обрабатываемых изделий.

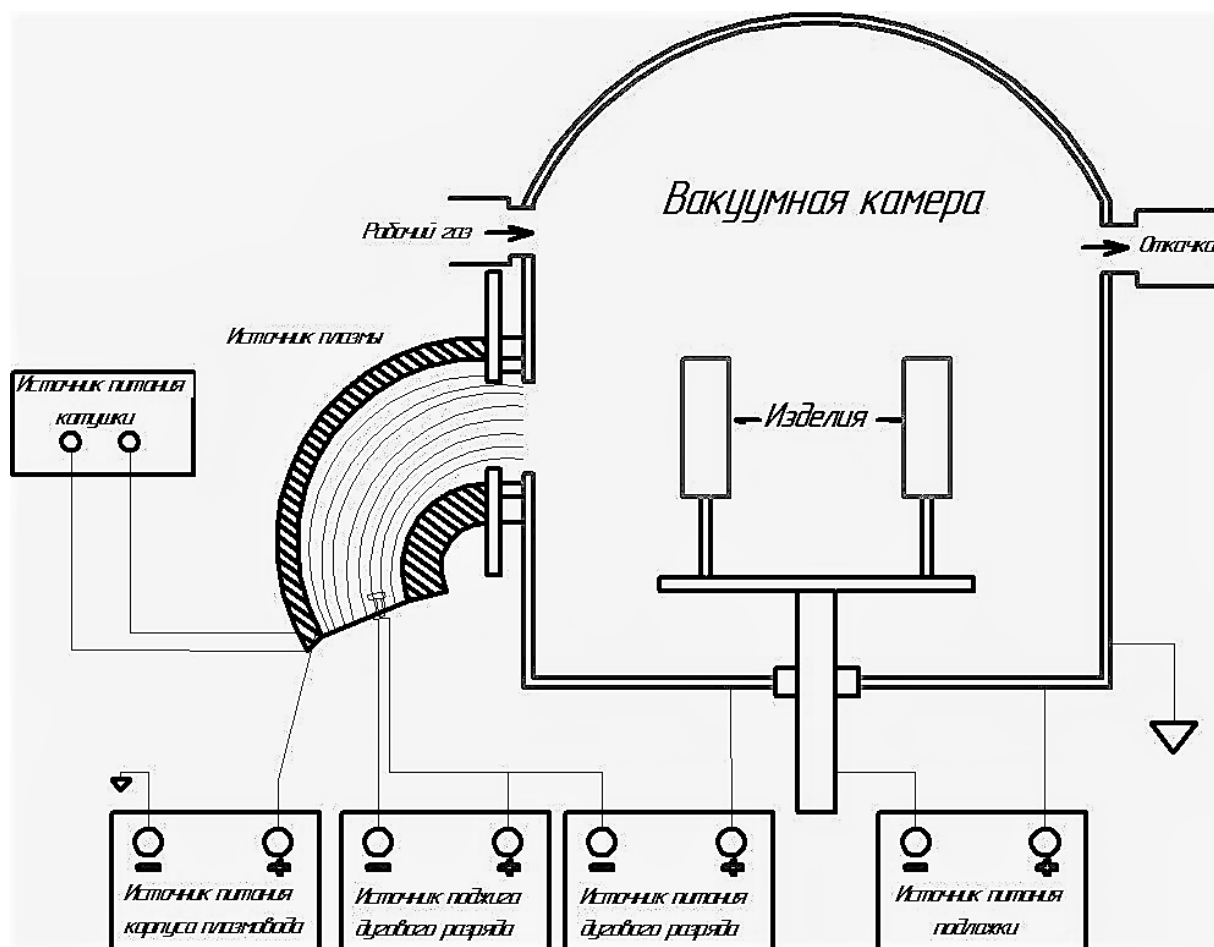


Рисунок 2.3– Блок-схема экспериментальной установки

2.2.3 Технология ионно-плазменных напыления покрытия на поверхность стали 12Х18Н10Т в установке ННВ-6.6

Технологический процесс нанесения защитных нитридных покрытий на инструменты и детали машин можно разделить на пять периодов: подготовительный, ионная отчистка и нагрев, нанесение покрытия и охлаждение изделий (таблица 2.1).

Таблица 2.1 Технологический процесс нанесения покрытий на
установке ННВ.

№	Наименование операции	Содержание операции
1	Подготовительный процесс	<ul style="list-style-type: none"> - проверка деталей на наличие механических повреждений и загрязнений; - устранение выявленных недостатков; - обезжиривание поверхности детали путём промывки детали в бензине и протирке салфеткой из бязи; - установка деталей в приспособление, загрузка их в вакуумную камеру; - вакуумная откачка.
2	Ионная отчистка и нагрев	<ul style="list-style-type: none"> - включении испарителей - устанавливается следующий режим - нагрев изделий до температуры 400...550° С.
3	Нанесение покрытия	<ul style="list-style-type: none"> - снятие с подложки высокого напряжения, замена его на опорное (0,18...0,24) - подача в камеру легирующего газа с помощью автоматического натекателя - выключение электродугового испарителя и снятие опорного напряжения
4	Охлаждение изделий	<ul style="list-style-type: none"> - закрытие затвора диффузионного насоса и прекращение подачи газа - отключение подачи охлаждающей воды в электродуговые испарители - включение прогрева камеры перед напуском воздуха за 15...20 мин. до выгрузки деталей - нагрев камеры до температуры стенок 60...80°С. - охлаждение деталей - напуск воздуха в нагретую камеру - включение вентиляций (камера вентилируется в течение 5 мин) - выгрузка обрабатываемых изделий.

Детали подвергаются к контролю после выгрузки их из камеры. Полноценный контроль качества покрытий производится на образцах –

свидетелях. При этом проверяется поверхностная физико-механические свойства, такие как, толщина, микротвёрдость, адгезия слоя.

2.3 Контроль качество ионно-плазменного напыления

Полный контроль качества покрытий ионно-плазменного напыления проводят в следующем порядке:

- визуальный осмотр;
- контроль толщины покрытия;
- контроль на микротвёрдость;
- измерение модули упругости
- контроль адгезионных свойств покрытия;

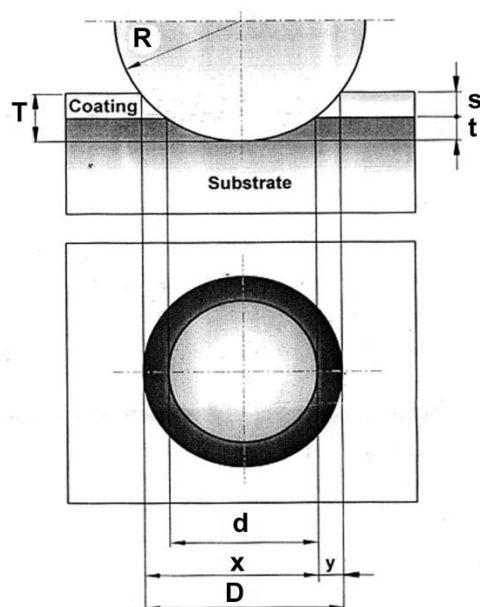
Таблица 2.2 Используемые установки для проведение исследование по физико-механическим свойствам образцов.

№	Метод контроля	Оборудование для проведения контроля
1	Толщина покрытий	Calotest Industrial CSM instruments
2	Микротвердость	ПМТ-3
3	Адгезия	Rockwell C test VDI 3824
		Micro-Scratch-Tester CSEM Instruments

2.3.1 Определение толщины покрытий методом «Калотест»

Методом Калостест провели измерения толщины покрытий. Процесс определения толщины осуществляется вращением стального шара диаметром 25,4 мм (1 дюйм) по поверхности на одном выбранном участке образца с использованием алмазной суспензии. После такого механического воздействия на образец остается характерная лунка (рис. 2.4), в срезе которой

наблюдается резкая граница между подложкой и покрытием. По параметрам отпечатка, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, а также, зная диаметр шара, могут быть определены глубина внедрения в субстрат t (формула (4)), общая глубина внедрения T (5) и толщина покрытия s (6).



$$(4) \quad t = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - d^2},$$

$$(5) \quad T = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - D^2},$$

$$(6) \quad s = T - t.$$

Рисунок 2.4 – Схематическое изображение метода Калотест.

2.3.2 Методики определения микротвёрдости материалов

Микротвердость является одной из важнейших физико-механических характеристик поверхностных слоев, тонких пленок. Метод микроиндентирования проявляет высокую чувствительность к изменению структуры и состава поверхностных слоев и обеспечивает неразрушающий характер.

В данной работе проводились предварительные измерения твердости подложек перед напылением и образцов с покрытиями с предполагаемой различной структурой на микротвердомере ПМТ-3, путем вдавливания алмазной пирамиды Виккерса под действием постоянной нагрузки (в нашем случае $P=50$ и 100 гр). По длине диагонали отпечатка можно вычислить микротвердость по Виккерсу H_v , используя формулу:

$$H_v = 1,8544 \frac{P}{d^2}, \quad (3)$$

где P – нагрузка на алмазную пирамидку,

d – диагональ отпечатка.

При этом глубина проникновения индентера в образец составляет

$$h = \frac{d}{7}$$

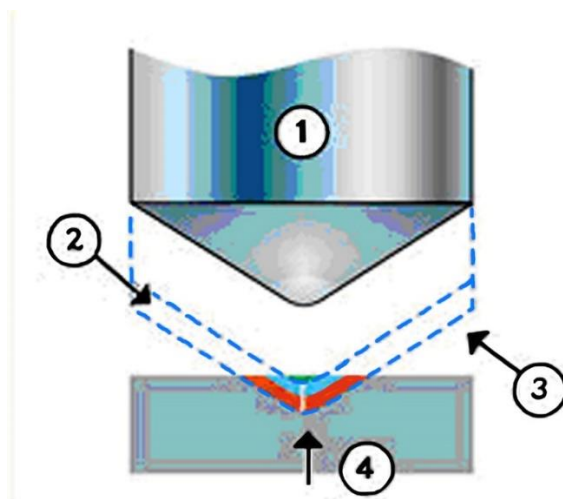
2.3.3 Методика измерения модулей упругости тонких покрытий

Измерение модули упругости проводилось методом измерительного индентирования по методу Оливера Фарра согласно стандарту ASTM E 2546-07.

Величину отношения твердости к модулю упругости, H/E , называемую также индексом пластичности материала использовали для оценки стойкости материалов к упругой деформации разрушения, а для оценки сопротивления материала пластической деформации – параметр H^3/E^2 .

2.3.4 Методики определения адгезии материалов

Наиболее распространенным методом определения адгезии, наряду с методом нанесения царапин, является испытание по Роквеллу. Испытание на адгезию покрытий по Роквеллу проводится так же, как стандартное испытание на твердость по Роквеллу (Rockwell C test VDI 3824) (рис.2.5). Размер и тип дефекта покрытия в самом отпечатке и вокруг него исследуется под оптическим микроскопом и сравнивается с серией фотографических изображений (рис.2.6).



1. Алмазный наконечник.
2. Глубина дефектного слоя покрытия при малой нагрузке.
3. Глубина дефектного слоя покрытия при большой нагрузке.
4. Величины изменения глубины дефектного слоя покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу является основой для расчета адгезии.

Рисунок 2.5 – Адгезия покрытия определяется по нарушению целостности покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу.

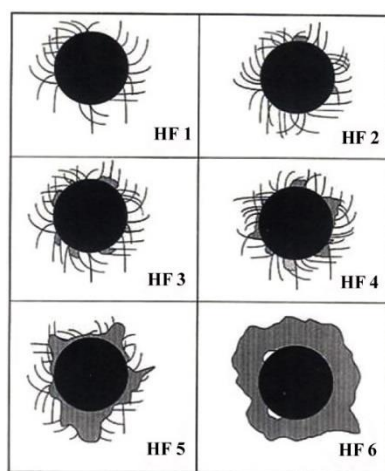


Рисунок 2.6 – Шкала градации качество адгезионной прочности

3 Сравнительный анализ основных физико-механических свойств покрытий

В данной главе представлены результаты анализа исследований толщины, твердости, морфологии поверхности и модуль упругости образцов.

3.1 Формирование нитридных покрытия

Нитридные покрытия наносили вакуумно-дуговым методом при ассистировании газоразрядной плазмой смеси азота и аргона в трех типов катодов: порошковый композиционный состава Ti(60%)-Al (40%), Ti(50%)-Al(40%)-Si (10%), Ti(88%)-Cu(12%). Напыление покрытий проходило при различных режимах. Основные параметры напыления приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Режимы напыление покрытий на сталь 12X18H10T в газовой среде

Наименование покрытий	Наименование операций			
	Очистка и нагрев	Напыление подслоя в Ar	Напыление в N ₂ в смеси Ar-N ₂ (50-50)	Остывание
Ti(88%)Cu(12%)N	P _{Ar} =3,0*10 ⁻³ Top I _p =10-30A U _{см} =850В T=250 ⁰ С	P _{Ar} =2,8*10 ⁻³ Top I _p =8A I _д =50A U _{см} =200В t=5 мин	P _{Ar} =2,8*10 ⁻³ Top I _p =10A I _д =25A U _{см} =0-300В t=0,5-2часа	t= 35 мин
Ti(60%)Al(40%)N	P _{Ar} =3,0*10 ⁻³ Top I _p =10-30A U _{см} =850В T=300 ⁰ С	P _{Ar} =2,5*10 ⁻³ Top I _p =8A I _д =80A U _{см} =100В	P _{общ} =2,8*10 ⁻³ Top I _p =10A I _д =25A U _{см} =0-300В	t= 30 мин

		t=5 мин	t=0,5-2 часа	
Ti(50%)Al(40%)Si(10%) N	$P_{Ar}=1,2-3,0 \cdot 10^{-3} \text{Top}$ $I_p=10-40 \text{A}$ $U_{cm}=800 \text{B}$ $T=400^{\circ}\text{C}$	$P_{Ar}=2,7 \cdot 10^{-3} \text{Top}$ $I_p=8 \text{A}$ $I_d=50 \text{A}$ $U_{cm}=250 \text{B}$ $t=5 \text{ мин}$	$P_{общ}=2,8 \cdot 10^{-3} \text{Top}$ $I_p=10 \text{A}$ $I_d=25 \text{A}$ $U_{cm}=0-300 \text{B}$ $t=0,5-2 \text{ часа}$	t= 40 мин

Из таблицы видно, что основными изменяемыми параметрами, влияющими на свойства покрытий в наших исследованиях, были, величина отрицательного напряжения смещения и время напыления.

В результате проведения напыления с катодов различного химического состава по указанным режимам были получены покрытия нитридов, имеющие различные цвета. Различия в цвете покрытий косвенно подталкивает к предположению, что свойства покрытий, вероятно, отличаются друг от друга. В нашем случае образцы, на которых нанесли покрытия, выглядят следующим образом: нитрид титана с медью (TiCuN) имеет золотистый цвет, нитрид титана с алюминием (TiAlN) – фиолетовый, а нитрид титана с алюминием и кремнием (TiAlSiN) – сиреневый, которые будут показаны на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид полученных образцов с покрытием в зависимости от режимов напыления и без покрытия

3.2 Влияние параметров процесса на свойства покрытий

3.2.1 Измерения скорости роста покрытия поверхности в зависимости от режима напыления

Измерения толщины проводили методом “Калотест”.

По толщине и времени напыления вычисляют скорость напыления.

Результаты измерений полученных слоев сведены в (табл. 3.2-3.4)

Таблица 3.2 Результаты измерений полученных TiAlSiN покрытий в зависимости от времени напыления

№ образца	Время напыления	D1	d1	Толщина, мкм	Скорость напыления мкм/час
1	0.5 час	0,9	0,85	1,92	3,84
2	1 час	0,8	0,69	3,25	3,25
3	1,5час	0,8	0,47	4,54	3,02
4	2час	0,7	0,2	5,77	2,88

Таблица 3.3 Результаты измерений полученных TiCuN покрытий в зависимости от времени напыления

№ образца	Время напыления	D1	d1	Толщина, мкм	Скорость напыления мкм/час
1	0.5 час	0,5	0,43	1,12	2,24
2	1 час	0,4	0,32	1,87	1,87
3	1,5час	0,4	0,31	2,14	1,43

4	2час	0,3	0,24	2,57	1,28
---	------	-----	------	------	------

Таблица 3.4 Результаты измерений полученных TiAlN покрытий в зависимости от времени напыления

№ образца	Время напыления	D1	d1	Толщина, мкм	Скорость напыления мкм/час
1	0.5 час	0,3	0,25	0,78	1,56
2	1 час	0,2	0,14	1,11	1,11
3	1,5час	0,2	0,11	1,88	1,25
4	2час	0,1	0,09	2,24	1,12

По результатам определения толщины методом Калотест в зависимости от времени напыления можно сделать вывод о том что слой TiAlSiN имеет большую толщину по сравнению с двумя другими. Так же замечен тот факт, что, с ростом времени напыления увеличивается и толщина, но уменьшается скорость напыления.

3.2.2 Микротвердость поверхности образцов с нитридными покрытиями в зависимости от параметров напыления

Как известно из литературных источников, на твердость нитридных покрытий оказывает влияние содержание смеси азота с аргоном в формирующейся пленке. Чем выше в определенном диапазоне давление молекулярного газа в рабочей камере, тем соответственно, выше твердость конденсата. Зависимость микротвердости нитридных покрытий от режимов напыления ионного источника с накалимым катодом строилась по значениям микротвердости, полученным при помощи микротвердомера ПМТ-3 при различных нагрузках (г).

Кроме того, на твердость нитридного покрытия, получаемого ионно-плазменным методом, существенное влияние оказывает кинетическая энергия ионов, которая, в свою очередь зависит от величины отрицательного потенциала (смещения), приложенного к обрабатываемым образцам. Поэтому нами были проведены исследования твердости получаемых покрытий при условиях, когда все параметры технологического процесса конденсации нитридных пленок на поверхности образцов из нержавеющей стали кроме напряжения смещения были идентичны и соответствовали следующим значениям: ток дугового испарителя - 25 А, давление газовой смеси ($Ar: N_2$) $p = 2,8 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст., ток генератора газоразрядной плазмы ~10А.

Результаты измерения микротвердости материала сравнения без покрытия и с покрытием (при различных давлениях):

Покрытие $TiAlSiN$, $TiCuN$, $TiAlN$ на поверхности стали 12Х18Н10Т.

Толщина (ЦИСМ) = 2,12 мкм.

Время процесса – 30 минут.

Таблица 3.5 Значения микротвердости от толщины TiAlSiN покрытия при различных нагрузках

Нагрузка Р, г	Без покрытия, HV, ГПа	Микротвердость покрытия TiAlSiN на поверхности стали 12X18H10T, HV, ГПа			
		L=2,1 2 мкм	L=3,2 мкм	L=4, 44 мкм	L=5, 74 мкм
20	3,71	11,85	23,54	34,48	30,42
50	3,97	6,67	14,58	19,02	24,15
100	3,70	4,83	8,73	9,97	14,53
200	3,51	4,32	6,45	6,39	8,37
500	3,15	3,68	4,49	3,77	3,97

Таблица 3.6 Значения микротвердости от толщины TiCuN покрытия при различных нагрузках

Нагрузка Р, г	Без покрытия, HV, ГПа	Микротвердость покрытия TiCuN на поверхности стали 12X18H10T, HV, ГПа			
		L=2,1 2 мкм	L=3,3 мкм	L=4,7 мкм	L=5,2 мкм
20	0,56	1,95	2,84	3,76	4,01
50	0,41	1,48	2,03	2,49	3,84
100	0,32	1,02	1,47	1,87	2,02
200	0,23	0,65	1,11	1,01	1,45
500	0,15	0,37	0,62	0,77	1,04

Таблица 3.7 Значения микротвердости от толщины TiAlN покрытия при различных нагрузках

Нагрузка Р, г	Без покрытия, HV, ГПа	Микротвердость покрытия TiAlN на поверхности стали 12Х18Н10Т, HV, ГПа			
		L=2,1 2 мкм	L=3,2 мкм	L=4, 44 мкм	L=5, 74 мкм
20	0,48	1,62	2,23	3,14	3,87
50	0,33	1,37	1,99	2,55	2,64
100	0,21	0,53	1,66	1,28	1,46
200	0,18	0,35	0,78	0,63	1,13
500	0,09	0,12	0,41	0,24	0,38

Сталь 12Х18Н10Т – упругий материал, и при малых нагрузках отпечаток частично восстанавливается, отсюда диагональ становится

Результаты измерения показали, что самым твердым покрытием является TiAlSiN. А самые меньшие показатели твердости получились у TiAlN.

3.2.3 Механические и упругие свойства пленочных покрытий, выявленные при малых испытательных нагрузках в результате динамического индентирования поверхностей

Анализ механических свойств тонких покрытий требует применения современных методик и оборудования, позволяющих работать на субмикронном и нанометровом уровне. Для этих целей широко используется метод наноиндентирования с автоматической записью диаграммы нагружения индентора.

Анализ таких диаграмм в рамках соответствующей модели дает всю необходимую информацию о поведении материала под индентором. Следует отметить, что это единственный на сегодня метод, позволяющий с достаточно высокой точностью определить твердость и модуль упругости пленки.

Часто для характеристики механических свойств пленки используют отношение H/E – упругая деформация разрушения, характеризует способность материала сопротивляться изменению размеров и формы в процессе деформации. По высоким значениям этого параметра можно судить о повышенной износостойкости. Другой параметр H^3/E^2 – характеризует сопротивление материала пластической деформации.

В таблице приведены средние основные механические характеристики исследуемых образцов, полученные из анализа соответствующих диаграмм нагружения.

Далее находили среднее значения этих параметров для каждой пленки на всех типах подложек.

Таблица 3.8 Свойства упругости TiAlSiN в зависимости от времени напыления при $U_{см} = 0V$

TiAlSiN на стали 12X18X10T	Время напыления, час	W_{ϵ} , %	H/E , <i>отн. ед.</i>	H^3/E^2 ГПа
	0.5	52,8	0,0781	0,151
	1	56,7	0,0758	0,205
	1.5	53,1	0,0647	0,130
	2	47,5	0,0576	0,116

Таблица 3.9 Свойства упругости TiCuN в зависимости от времени
напыления при $U_{см} = 0V$

TiCuN на стали 12X18X10T	Время напыления, час	$W_{\epsilon}, \%$	$H/E, \text{отн. ед.}$	$H^3/E^2 \text{ ГПа}$
	0.5	48.9	0,0623	0,134
	1	45.6	0,0601	0,148
	1.5	41.7	0,0588	0,127
	2	38.8	0,0575	0,101

Таблица 3.10 Свойства упругости TiAlN в зависимости от времени
напыления при $U_{см} = 0V$

TiAlN на стали 12X18X10T	Время напыления, час	$W_{\epsilon}, \%$	$H/E, \text{отн. ед.}$	$H^3/E^2 \text{ ГПа}$
	0.5	37.5	0,0552	0,098
	1	35.6	0,0524	0,089
	1.5	33.8	0,0516	0,077
	2	31.7	0,0503	0,052

Значения твердости, модуля упругости и упругого восстановления пленок приведены в таб.3.9-3.11 Глубина проникновения индентора при всех используемых нагрузках не превышает 15% толщины пленки. Максимальная твердость $HV \sim 30$ ГПа соответствует покрытию TiAlSiN толщиной $\sim 5,7$ мкм на поверхности стали 12X18H10T. С увеличением значений испытательной нагрузки, твердость монотонно уменьшается, что связано с увеличением глубины индентирования и возрастающим влиянием на измерения твердости подложки.

Важным преимуществом многокомпонентных наноструктурных пленок считается то, что можно получать сверхтвердые материалы с одинаковой твердостью, однако различным значением модуля Юнга. Это означает, что тонкие пленки с одинаковой твердостью отличаются упругой деформацией разрушения (H/E) и сопротивлением пластической деформации (H^3/E^2). Их упругие характеристики также могут значительно отличаться.

Сочетание высочайшей твердости и упругого восстановления свидетельствует об уникальности многокомпонентных наноструктурных пленок как новых твердых и в то же время эластичных материалов. Важно и то, что разве материалы могут обладать практически одинаковыми механическими характеристиками.

Полученные результаты измерений нанотвердости свидетельствуют о высокой термической стабильности многокомпонентных покрытий и являются косвенным подтверждением наноразмерной структуры покрытий.

3.3 Измерение адгезии

3.3.1 Адгезионная прочность покрытий

В случае многокомпонентных пленок идеальную поверхность можно получить и при отсутствии напряжения смещения. Скретч для покрытий $TiAlSiN$, нанесенных на сталь 12X18H10T с потенциалом смещения 0В.

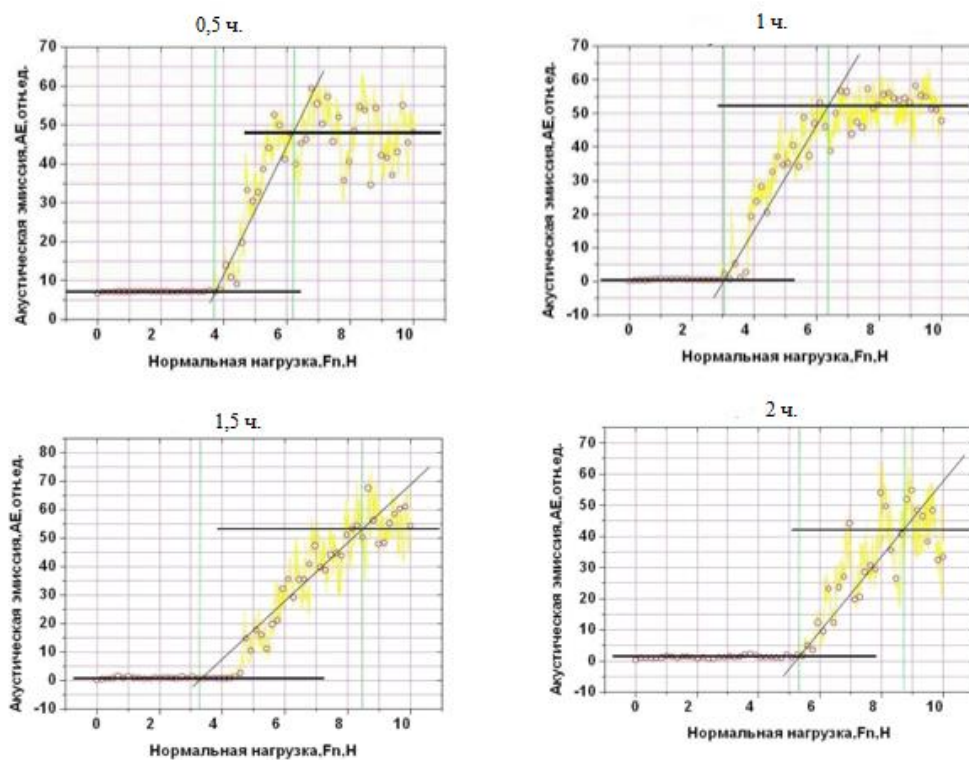


Рисунок 3.2 – Покрытие TiAlN, время нанесения 0,5 - 2 часа: на подложке из стали 12X18H10T

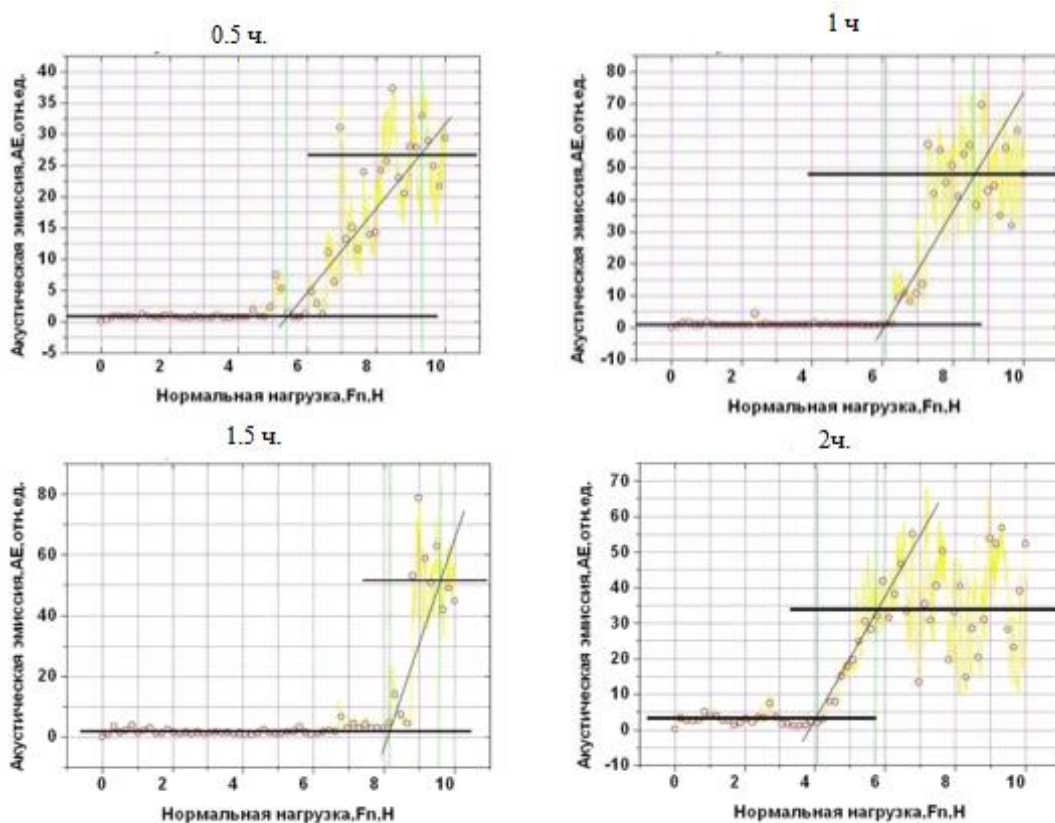


Рисунок 3.3 – Покрытие TiAlSiN, время нанесения 0,5 - 2 часа: на подложке из стали 12X18H10T

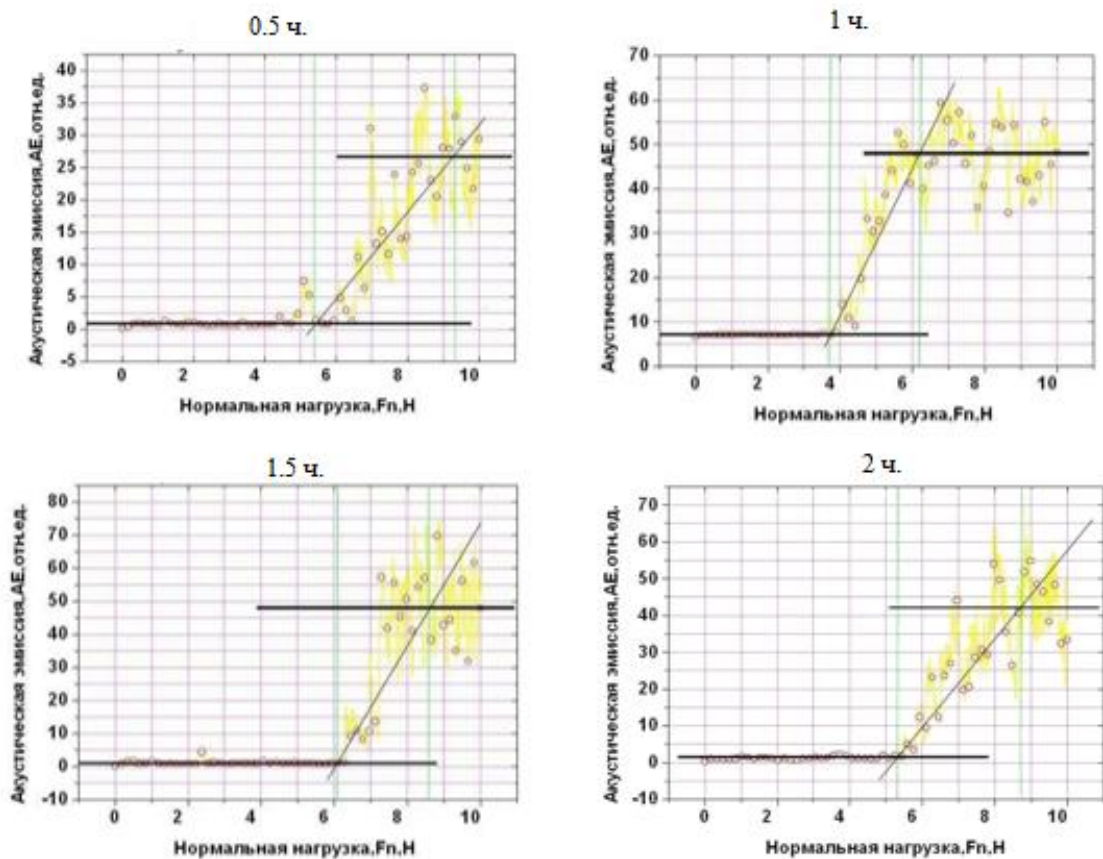


Рисунок 3.4 – Покрытие TiCuN, время нанесения 0,5 - 2 часа:
на подложке из стали 12X18H10T

На установке CSEM Instruments Micro-Scratch-Tester проводили Скретч-тест при возрастающей нагрузке на базе 10 мм от 0,1 до 20 Н на алмазный индентор Rockwell с радиусом 20 мкм со скоростью нагружения 20 Н/мин. Измерялись акустическая эмиссия и сила трения индентора.

Экспериментальные кривые акустических сигналов от тензодатчика установленного на инденторе, построенные с помощью программы Scratch Software v.2.6, экстраполировались с использованием редактора Origin Graph v. 8.0 (Рис. 3.2-3.4).

Таблица 3.11 – Результаты обработки кривых скретч-тестов для TiAlSiN

Режим обработки	Начало разрушения, F_{ni} , Н	Полное разрушение, F_{nt} , Н	Наклон кривой в области разрушения, град.
Покрытие TiAlSiN на подложке из стали 12X18H10T, 30мин.	3,70	6,20	63
Покрытие TiAlSiN на подложке из стали 12X18H10T, 60мин.	3,05	6,40	59
Покрытие TiAlSiN на подложке из стали 12X18H10T, 90мин.	3,30	8,45	46
Покрытие TiAlSiN на подложке из стали 12X18H10T, 120мин.	5,40	8,70	51

Таблица 3.12 – Результаты обработки кривых скретч-тестов для TiCuN

Режим обработки	Начало разрушения, F_{ni} , Н	Полное разрушение, F_{nt} , Н	Наклон кривой в области разрушения, град.
Покрытие TiCuN на подложке из стали 12X18H10T, 30мин.	3,20	5,75	62
Покрытие TiCuN на подложке из стали 12X18H10T, 60мин.	3,03	5,50	47
Покрытие TiCuN на подложке из стали 12X18H10T, 90мин.	3,15	5,60	51
Покрытие TiCuN на подложке из стали 12X18H10T, 120мин.	4,80	8,20	58

Таблица 3.13 – Результаты обработки кривых скретч-тестов для TiAlSiN

Режим обработки	Начало разрушения, F_{ni} , Н	Полное разрушение, F_{nt} , Н	Наклон кривой в области разрушения, град.
Покрытие TiAlN на подложке из стали 12X18H10T, 30мин.	2,58	4,98	46
Покрытие TiAlN на подложке из стали 12X18H10T, 60мин.	2,12	4,77	42
Покрытие TiAlN на подложке из стали 12X18H10T, 90мин.	2,05	4,14	39
Покрытие TiAlN на подложке из стали 12X18H10T, 120мин.	3,46	5,07	55

В таблице 3.11-3.13 представлены результаты обработки этих кривых для исследуемых покрытий. За начало разрушения принимался момент пересечения нижней асимптоты и наклонного участка кривой акустической эмиссии. Полное разрушение фиксировалось при пересечении наклонного участка и верхней асимптоты.

Из результатов скретч-тестов следует, что разрушение покрытия на TiCuN начинается позже, чем у TiAlN. Наибольшее увеличение стойкости покрытия наблюдается у TiAlSiN. Следует обратить внимание на угол наклона кривых акустической эмиссии от величины возрастающей нагрузки при различных режимах формирования покрытия. Угол наклона, приближающийся к значению 90 град, свидетельствует о слабой связи покрытия с поверхностью подложки и характеризует адгезионное разрушение материала. Уменьшение угла наклона свидетельствует о более равномерном

разрушении покрытия в процессе испытания. Расширение области износа покрытия при увеличении нагрузки на индентор является следствием преимущественно когезионного характера разрушения материала нитридной пленки и соответственно роста стойкости системы на границе покрытие-подложка.


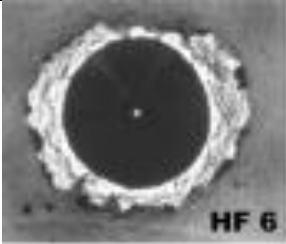
3.3.2 Измерение стойкости полученных композитных покрытий

Адгезия покрытия определялась по нарушению целостности покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу. Существует классификация HF1-6 по которой определяется класс качества полученного отпечатка. Результаты проведенных работ представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14 Экспериментальные данные по стойкости исследуемых покрытий

Слой	Класс качества в результате напряжения смещения	
	$U_{\text{см}} = 0 \text{ В}$	$U_{\text{см}} = 300 \text{ В}$
TiAlN	HF 5	HF6
TiCuN	HF3	HF4
TiAlSiN	HF 1	HF2

Таблица 3.15 Результат класса качества от изменения потенциала смещения 0-300В

	$U_{\text{см}} = 0 \text{ В}$	$U_{\text{см}} = 300 \text{ В}$
TiAlN		

В таблице 3.15 показана изменения в поверхности образца с TiAlN покрытием. Заметно, что от напряжения смещения покрытие изменилось. Трещины, возникшие в HF5 полностью разрушились и откололись в HF6.

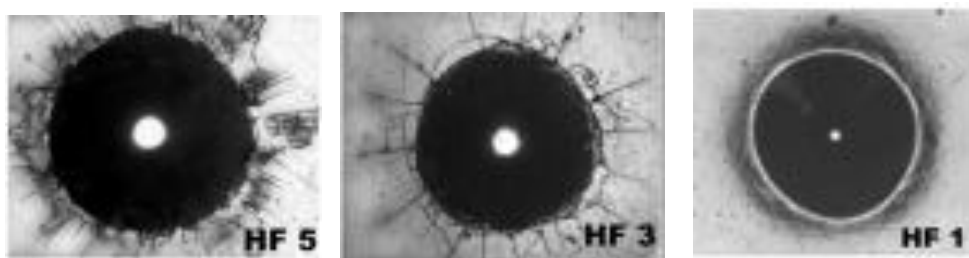


Рисунок 3.5 – Результаты исследования адгезии полученных покрытий
а) TiAlN, б) TiCuN, в) TiAlSiN

Результат показал, что адгезия полученного покрытия на подслоях TiCuN, TiAlN соответствуют 3-5 классу. Это видно по радиальным трещинам и большими расслоениями вокруг кратера, это связано с плохой адгезией пленок к подложке. От изменения потенциала смещения от 0 к 300 класс качество уменьшается, что доказывает достаточное влияние на поверхность покрытия.

На подслое TiAlSiN адгезия соответствует 1 классу, это видно по отсутствию трещин вокруг кратера.

По итогам работы отметим, что в целом результаты получения нитридных покрытий по результатам измерения микротвердости показал с некоторым отклонением от справочных данных. Так как обычная твердость составляет иных показателей, а в результате работы было получено другие.

Так же можно выделить, что лучшим адгезионным подслоем из трех исследованных выше, в результате показал TiAlSiN.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Кайролла Ербулан Адилжанулы

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Изменение свойств износостойких нитридных покрытий при ионно-плазменном напылении в зависимости от материала катода испарителя. Рабочая зона – лаборатория контроля качества материалов и конструкций ИСЭ СО РАН.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности; – термические опасности; – электробезопасность. 	<p>1) Воздействие электрического тока при возникновении утечки на корпус и землю - проверка целостности изоляции и токоведущих частей электрооборудования перед началом работ;</p> <p>2) Воздействие ультразвука и шума на органы слуха - выполнение персоналом требований инструкции по охране труда при проведении сварочных работ на стенде, использование средств индивидуальной защиты (наушники по ГОСТ Р 12.4.208-99);</p> <p>3) Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути - выполнение работ при включенной вентиляции, использование средств индивидуальной защиты при подготовке кромок сварного шва (респиратор по ГОСТ 12.4.028, перчатки защитные по ГОСТ 12.4.171-86);</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу; – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Технологический процесс ионно-плазменного напыления не оказывает вреда на окружающую среду.</p> <p>Отходы производства в виде стружки и обрезков листовых материалов подлежат утилизации согласно СНиП 2.01.08-85.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Типичная ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование.</p> <p>При работе с оборудованием необходимо придерживаться ТБ основанной на Тои Р-45-068-97.</p> <p>Лаборатория оснащена средствами электрической пожарной сигнализации и пожаротушения.</p>

<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Требования к средствам коллективной и индивидуальной защиты работающих установлены в ГОСТ 12.4.011.</p> <p>Расположение и организация рабочих мест для безопасного выполнения технологических операций должны соответствовать по ГОСТ 12.2.003.</p> <p>Требования электробезопасности - по ГОСТ 12.2.007.0.</p> <p>Требования к защите от шума - по ГОСТ 12.1.003.</p> <p>Требования к средствам защиты рук - по ГОСТ 12.4.020.</p>
5. Перечень расчетного и графического материала	Расчет вентиляции помещения.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Кайролла Е.А.		

4. Социальная ответственность

4.1 Производственная безопасность

В данном разделе рассматриваются вопросы по охране труда и окружающей среды, а также обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях, в процессе выполнения научно-исследовательской работы, которая проводилась на базе Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), в лаборатории плазменной эмиссионной электроники (ЛПЭЭ).

Актуальность работы заключается в том, что использование защитных сверхтвердых покрытий особенно актуально в производствах, где применяется металлические элементы из нетеплостойких материалов. Однако получение сверхтвердых соединений из тугоплавких металлов на поверхностях таких материалов имеет свои недостатки, например, покрытия получают с низкой адгезией, и низкими защитными свойствами и т.д.

Целью работы является анализ процессов формирования износостойких покрытий при вакуумно-дуговом распылении многокомпонентных катодов различных составов. Получение экспериментальных данных об особенностях режимов, влияющих на функциональность пленочных материалов. Сопоставление физико-механических характеристик поверхностей образцов с покрытиями.

4.1.1 Анализ производственных факторов, возникающих при проведении исследований

Опасными называются производственные факторы, воздействие которых на работающего человека в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же

производственные факторы приводят к заболеванию или снижению трудоспособности, то их считают вредными (ГОСТ 12.0.002-80). Между вредными и опасными факторами нередко наблюдается взаимосвязь. В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредные производственные факторы могут стать опасными.

Основными опасными и вредными факторами в соответствии с ГОСТ 12.0.003–74 являются: физические, биологические и психофизиологические. Виды опасных факторов при выполнении технологического процесса, а также содержание мер по предупреждению опасных ситуаций приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Опасные факторы и меры их предупреждения

Источник опасности	Опасные факторы	Нормативные документы
Физические	1) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;	1. Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в зоне при производстве покрытий должны соответствовать требованиям [2]
	2) недостаточная освещенность рабочих мест и проходов;	2. Освещенность рабочих мест должны соответствовать требованиям [1]

Источник опасности	Опасные факторы	Нормативные документы
Излучение	1) повышенные уровни шума, вибрации, ультразвука и различных излучений – тепловых, ионизирующих, электромагнитных, инфракрасных;	Выполнение персоналом требований инструкции по охране труда при проведении технологического процесса. Использование средств индивидуальной защиты [2]
Химические	1) Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути	Использование средств индивидуальной защиты при выполнении работ [2]
Психофизиологические	1) физические перегрузки (статические и динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов слуха, зрения и др.)	Время и напряженность работы согласно по [1]

4.1.2 Меры для защиты исследователя от воздействия опасных и вредных факторов

Выбор методов и средств обеспечения безопасности должен осуществляться на основе выявления факторов, присущих тому или иному производственному оборудованию, или технологическому процессу.

4.1.3 Расчет вентиляции

От вентиляции на рабочем месте зависит состояние здоровья человека и его работоспособность. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей (4).

Факторы, влияющие на микроклимат, можно разделить на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (особенности и качество строительства зданий и сооружений, интенсивность теплового излучения от нагревательных приборов, кратность воздухообмена, количество людей и животных в помещении и др.)

Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий резко ухудшает его самочувствие, снижается производительность труда, и приводит к заболеванию.

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям.

2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения.

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 4.2:

Таблица 4.2. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте
(СанПиН 2.2.4.548-96)

Пе риод года	Кате гория работы	Темпе ратура, °С	Относит ельная влажность, %	Ско рость движения воздуха, м/с
Холодные	средняя	19 – 24	15 - 75	≤
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

При обеспечении допустимых показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкции, ограждающих рабочую зону (стен, потолка, пола) не должна превышать предел допустимых величин температуры воздуха.

В холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей.

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Определим необходимый объём воздуха L , удаляемый от местных отсосов по формуле [2]:

$$L=3600 \cdot F \cdot V, \quad (5.1)$$

где F – суммарная площадь рабочих проёмов и неплотностей, м^2 ;

V – скорость всасывания воздуха на рабочем участке, $V = 0,5 \text{ м/с}$;

$$L = 3600 \cdot 0,36 \cdot 0,5 = 648 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Из расчета видно, что объём воздуха удаляемый от местных отсосов составляет $L= 648 \text{ м}^3/\text{с}$.

4.1.4 Производственный шум

Шум – всякий нежелательный для человека звук. Звуковые волны возбуждают колебания частиц звуковой среды, в результате чего изменяется атмосферное давление. Шум, который возникает при работе оборудования и превышающий допустимые нормативные значения, воздействует на человека на вегетативную и центральную нервную систему, и органы слуха.

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумная ионно-плазменная установка. Шум в лаборатории не должен превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА (ГОСТ 12.1.003-83).

Действие шума на человека зависит от уровня и характера шума, его продолжительности, а также от индивидуальных особенностей человека.

Одним из неблагоприятных факторов производственной среды в ИВЦ является высокий уровень шума, создаваемый печатными устройствами, оборудованием для кондиционирования воздуха, вентиляторами систем охлаждения в самих ЭВМ.

Для решения вопросов о необходимости и целесообразности снижения шума необходимо знать уровни шума на рабочем месте оператора.

Уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, подсчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучений отдельных источников:

$$L_{\Sigma} = 101g \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0.1L_i}$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума; n – количество источников шума.

Полученные результаты расчета сравниваются с допустимым значением уровня шума для данного рабочего места. Если результаты расчета выше допустимого значения уровня шума, то необходимы специальные меры по снижению шума. К ним относятся: облицовка стен и потолка зала звукопоглощающими материалами, снижение шума в источнике, правильная

планировка оборудования и рациональная организация рабочего места оператора.

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Уровни звукового давления различных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Жесткий диск	40
Вентилятор	45
Монитор	17
Клавиатура	10
Принтер	45
Сканер	42

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума для рабочего места оператора, равный 65 дБ (ГОСТ 12.1.003-83). И если учесть, что вряд ли такие периферийные устройства как сканер и принтер будут использоваться одновременно, то эта цифра будет еще ниже. Кроме того, при работе принтера непосредственное присутствие оператора необязательно, т.к. принтер снабжен механизмом автоподачи листов.

4.2. Экологическая безопасность

4.2.1. Анализ влияния технологического процесса на окружающую среду

Технологический процесс при напылении покрытия не оказывает особого вреда на гидросферу и атмосферу, однако вспомогательные и дополнительные материалы, применяющиеся при подготовке к напылению, при неправильной организации утилизации могут привести в той или иной степени вредности. Доля материала, проникающая в окружающую среду, не

превышает допустимых норм, поэтому нет необходимости в создании санитарной зоны.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Подложки, которые имеют дефекты, то есть не пригодные для дальнейшей работы, отправляются на переплавку.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

4.2.2 Меры по снижению вредных воздействий на окружающую среду

При обеспечении санитарных норм воздушной среды в производственных помещениях должна использоваться вытяжная, приточная и естественная вентиляция, отопление.

Отходы производства в виде стружки и обрезков листовых материалов подлежат утилизации согласно СНиП 2.01.08-85.

4.2.3 Утилизация вредных веществ. Методы утилизации химических отходов

Утилизация химических отходов – перерабатывание вторичного сырья, используемого в быту и производстве, без нанесения какого-либо вреда атмосфере. В ее основе лежат физико-химические процессы, которые позволяют кристаллизовать и растворять перерабатываемые смеси и суспензии. Заниматься утилизацией химических отходов могут только предприятия, имеющие лицензию.

Из-за множество видов химической продукции невозможно выделить один альтернативный способ утилизации химических отходов. Поэтому существует 6 способов утилизации отходов:

- Нейтрализация;
- Хлорирование с окислением;
- Алкоголиз;
- Термический способ;
- Способ дистилляции;
- Биологический способ.

Нейтрализация химических отходов заключается в превращении токсичных опасных веществ в нетоксичные путем соединения с различными видами реагентов. К таким методам относят щелочной гидролиз, который используется для обезвреживание ядов.

Хлорирование с окислением, учитывая нейтрализацию, делают в водных растворах и суспензиях, чтобы избежать возможности взрыва. Этот метод позволяет обезвредить продукт на 99,9%. Для окисления используют такие вещества, как гипохлорит Ca и Na, хлор, пероксид водорода. В отдельных случаях происходит непосредственное хлорирование продукта.

Самым простым и незатратным способом утилизации химических отходов является термический способ. Он позволяет почти полностью разрушить вещества с последующей очисткой газов и происходит в результате сгорания химикатов в смеси с жидким топливом.

Метод дистилляции дает возможность предприятию снизить закупку сырья путем разделения жидкостей, так они принимают свое первичное состояние, что дает возможность использовать их снова.

Утилизация полимеров. Отходы пластмасс и резиновых изделий измельчают, гранулируют для производства различных сувениров и игрушек [15].

В представленной работе в лабораторных целях используются такие химические вещества, как TiN, TiCuN, TiAlSiN, TiAlN. Во время технологического процесса особого вреда к окружению не имеют, так как весь процесс происходит в закрытой установке. Но для утилизации остатков данных видов порошков, также и для используемых предметов, материалов можно использовать вышеперечисленные методы утилизации.

4.3. Безопасность в чрезвычайных аварийных ситуациях

4.3.1 Анализ вероятных ЧС, возникающих при проведении исследований

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения,

круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара. Пожар может произойти вследствие перегрева электродов или проблем с изоляцией. В лаборатории используется баллон с азотом в работе при основных и газовых разрядниках. Имеется инструкция по технике безопасности для работников, использующих при работе баллонов со сжатыми и сжиженными газами.

На рабочем месте баллоны должны находиться в металлических шкафах или в специально оборудованных местах, обеспечивающих их защиту от воздействия солнечных лучей, осадков, нагревания, механического воздействия и падения. В свою очередь баллоны должны быть надежно укреплены с помощью хомутов, цепочки или троса. Расстояние от ближайшего радиатора или отопительного прибора до баллона должно быть не менее 1 м, от газовых горелок – не менее 1,5 м, от печей и других источников тепла с открытым пламенем – не менее 5 м. Работа с газами, находящимися в баллонах, опасна и требует большой осторожности, внимания и соблюдения установленных правил и инструкций.

Помещение лаборатории имеет категорию В [Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"[12].

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к., все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану. Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- Вызвать пожарный расчет;
- Отключить все электроустановки;
- Закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
- Воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ). При невозможности - начать эвакуацию.

4.3.2 Меры по предотвращению ЧС

В подразделении, выполняющем технологический процесс получения экспериментальных образцов для напыления должны быть утвержденные инструкции по технике безопасности и пожарной безопасности.

При использовании, размещении, хранении и транспортировке материалов, требуемых для выполнения технологического процесса следует соблюдать требования пожарной безопасности [15].

Согласно ГОСТ 12.3.002 для обеспечения безопасности должны быть предусмотрены следующие меры:

- при работе с токсичными веществами применены индивидуальные средства защиты работающих: спецодежда, перчатки, маски;
- использование сигнальных знаков и знаков безопасности в соответствии с ГОСТ Р 12.4.026-2001;
- предусмотрено время отдыха с целью предотвращения монотонности, гиподинамики, чрезмерных физических и нервно-психических перегрузок.

4.4. Организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности

Перед допуском к проведению операций, выполняемых при проведении технологического процесса получения неразъемных соединений, лица, участвующие в его выполнении, проходят инструктаж по безопасным приемам выполнения работ с регистрацией в журнале по установленной форме. Инструктаж должен производиться периодически в сроки, установленные приказом по организации.

К работам по проведению технологических операций при проведении технологического процесса допускаются лица, имеющие квалификационную группу не ниже III по электробезопасности для работы с электроустановками напряжением до 1000 В.

Перед началом рабочей смены, после включения плазменной установки, проводится контроль технического состояния оборудования.

Проверка технического состояния включает в себя:

- ежедневный осмотр и проверку технического состояния;
- устранение неисправностей.

При осмотре и проверке технического состояния оборудования плазменного оборудования следует провести:

- осмотр наружных поверхностей и проверку отсутствия следов коррозии и других повреждений;
- визуальный осмотр наружных поверхностей и их очистку от загрязнений;
- визуальный осмотр целостности управления установки;
- проверку работоспособности приводов;
- проверку работоспособности управляющего компьютера;
- проверку работоспособности системы охлаждения;
- проверку целостности, степени износа и режущего инструмента;

Во время осмотра оборудования запрещается:

- производить какие-либо органами управления;
- прикасаться к токоведущим частям и производить их чистку;

При обнаружении неисправности обслуживающий персонал обязан отключить оборудование и принять меры к немедленному устранению обнаруженных неисправностей.

4.4.1 Правовые нормы трудового законодательства

Основные направления государственной политики в области охраны труда:

- признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности предприятий.
- установление единых нормативных требований по охране труда для предприятий всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности и ведомственной подчиненности
- защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве и другие.

Каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе:

- на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов
- на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей
- на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

4.4.2 Организационные меры при компоновке рабочей зоны исследователя

Расположение и организация рабочих мест для безопасного выполнения технологических операций должны соответствовать требованиям безопасности к производственному оборудованию [2].

Требования безопасности по содержанию вредных веществ, температуре, влажности и вентиляции воздуха в рабочей зоне — по ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.1.007 и ГОСТ 12.4.021.

Требования электробезопасности — по ГОСТ 12.2.007.0.

Требования к защите от шума — по ГОСТ 12.1.003.

Требования к средствам коллективной и индивидуальной защиты работающих установлены в ГОСТ 12.4.011.

Требования к средствам защиты рук — по ГОСТ 12.4.020.

Для нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест должны использоваться осветительные приборы общего освещения, световые проемы, естественная освещенность.

Для защиты от поражения электрическим током должны использоваться:

- оградительные устройства;
- токоизолирующие устройства;
- устройства защитного заземления и зануления.

Для защиты от статического электричества должны предусматриваться заземляющие устройства.

Для защиты от воздействия химических факторов предусматривают вентиляцию и знаки безопасности.

Должны быть предусмотрены следующие методы защиты от шума:

- венткамеры должны быть вынесены в отдельные помещения;

– для защиты от вибрации вентиляторы должны быть установлены на виброизолирующих опорах, на воздуховодах применены гибкие вставки.

Работники должны быть обеспечены спецодеждой и спецобувью соответствующего размера, по типовым отраслевым нормам.

Для предотвращения попадания очистителя, растворителя на руки работники должны быть обеспечены защитными перчатками.

Для предотвращения попадания паров очистителя, растворителя в органы дыхания работники должны использовать респиратор типа ШБ-1 «Лепесток» по ГОСТ 12.4.028.

В каждом помещении, в котором проводятся технологические операции, должна быть медицинская аптечка с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств.

Помещения, в которых проводятся технологические операции, должны быть оснащены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, емкостью с песком, накидками из огнезащитной ткани.

Межгосударственный стандарт(ГОСТ)

1. ГОСТ 20.39.108-85 «Комплексная система общих технических требований».
2. ГОСТ 12.1.005-88; ГОСТ Р 12.4.208-99; ГОСТ 12.4.171-86; ГОСТ 12.2.003 «Система стандартов безопасности труда».
3. ГОСТ 8.332-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений».
4. ГОСТ 12.1.005 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
5. ГОСТ 54 30013-83 «Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности».

6. ГОСТ 12.4.154-85 «ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты».

7. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

8. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

9. СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

10. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

11. ГОСТ 12.4.123-83. «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования».

12. ГОСТ Р 12.1.019-2009; ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

13. ГОСТ 12.1.004-91; ГОСТ 12.2.037-78 «Пожарная безопасность. Общие требования».

14. СанПиН 2.1.6.1032-01. «Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха».

15. ГОСТ 30775-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов».

16. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

17. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Заключение

Были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на установке и поведение в них, а также правила работы с установкой в целях предотвращения несчастных случаев.

В целях практической работы, был произведен расчет искусственной освещенности рабочей зоны, результатом которого является соответствие рассчитанного типа ламп ЛД.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Кайролла Ербулан Адилжанулы

Школа	ИШНПТ	Отделение	материаловедения
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ 2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок 3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; 3. SWOT-анализ; 4. Инициация проекта. 5. Определение бюджета НТИ <p>Оценка сравнительной эффективности исследования. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</p>
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Кайролла Е.А.		

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

5.1 Пред проектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

Новые области применения тонкопленочных структур заставляют развиваться технологию их напыления и расширяют мировой рынок изготовления покрытий. Большой интерес представляет поведение и свойства слоев, имеющих толщины от нескольких нанометров до нескольких микрометров. Известно, что характеристики покрытия изменяются с уменьшением порядка.

Обрабатывающая промышленность в настоящее время требует роста производительности режущего инструмента. Это означает, что скорость резки и подачи должна быть выше. Материал режущей части инструмента, как правило, очень хрупкий. Однако защитное покрытие на основе системы титана (Ti) и алюминия (Al) улучшает термостабильность и стойкость к окислению.

Одним из таких материалов является TiN, который используется как в качестве монослойного, так и мультислойного покрытия.

В настоящее время конфигурации наносимых износостойких покрытий могут быть совершенно различны. С этой целью применяются нитридные, сложные композиционные и составные покрытия с включением атомов дополнительного материала. Именно изменение технологических параметров и концентраций распыляемых веществ в мишени позволяют получать однослойные и мультислойные структуры.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение» является: разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации, определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта.

Для достижение цели важную роль играет решение следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются научные сотрудники, студенты.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

	Отрасли, занимающиеся ионно-плазменным оборудованием		
	Научные институты	Научно-исследовательские лаборатории	Заводы по производству выключателей

Сфера деятельности по применению контактных материалов	Изучение материалов оборудования	+	+	+
	Изучение свойств контактных материалов	+	+	
	Анализ характеристик оборудования	+	+	
	Использование ионно-плазменного оборудования в промышленных целях			+

Как видно из карты сегментирования, основным сегментом данного рынка являются научные институты, научно-исследовательские лаборатории, которые занимаются изучением свойств и характеристик ионно-плазменного оборудования. Заводы-изготовители занимаются больше коммерческой деятельностью, обеспечивая применение ионно-плазменного оборудования в промышленности.

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 5.2 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,3	4	3	4	4	0,6	0,6
2. Простота технологии нанесения покрытия	0,25	4	3	4	3	0,5	0,2
3. Энергоэкономичность	0,15	3	4	4	3	0,18	0,14
4. Надежность	0,15	4	4	4	4	0,3	0,13
5. Безопасность	0,2	4	4	3	4	0,4	0,4
6. Широта области применения покрытия	0,25	5	5	4	4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Цена	0,2	4	4	4	4	0,38	0,38
6. Финансирование научной разработки	0,1	4	3	3	4	0,4	0,4
Итого	1	33	30	30	30	3,26	2,65

К1 – методы комбинированная обработки поверхности металлов

К2 – традиционные методы нанесения износостойких покрытий

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 30. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка

является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, надежность, цена, безопасность.

5.1.2 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины – следствия Исикавы – это графический метод анализа и формирования причинно – следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно – следственных связей.



Рисунок 5.1. Диаграмма Исикавы

5.1.2 SWOT-анализ

Одним из эффективных средств сокращения расходов металлов при сокращении высокого уровня производительности металлообработки является применение азотированных деталей и механизмов с износостойкими покрытиями.

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность создания оптимальных условий формирования упрочнённых слоев с улучшенными характеристиками, увеличение срока службы деталей и механизмов, улучшение качества обрабатываемой поверхности, эффективное использование оборудования, снижение себестоимости изделия.

Но, не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не до конца разработаны оптимальные режимы обработки, исследованы не все технологические параметры процесса комбинированной обработки деталей и механизмов.

Таблица 5.3 Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Применение ионно-плазменной технологии повышает эксплуатационные показатели изделия, (точность, себестоимость). С2. Повышение производительности. С3. Увеличение срока службы инструмента. С4. Прочность, вязкость и теплостойкость режущего инструмента. С5. Высокая твердость режущей кромки. С6. Высокая трещиностойкость и износостойкость.	Сл1. Наличие в плазменном потоке и на поверхности конденсации капельной фракции. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Вероятность получения брака.

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ СО РАН (т.е. использование научного оборудования)</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импорт замещение в данной отрасли.</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Так как группа имеет знания и опыт в данном направлении, то если возможность расширить номенклатуру обрабатываемых изделий.</p>	<p>С1В1 – вероятность расширения количества поставщиков.</p> <p>С1В2 – расширение возможности оборудования в производстве.</p> <p>С2В3 – высокий спрос на износостойкость покрытия.</p> <p>С2В4 - сравнительная простота изготовления длинномерных распылителей;</p> <p>С2В5 - пониженные требования к точности поддержания рабочего давления реакционного газа при реактивном распылении;</p> <p>С2В6 - возможность увеличения расстояния от мишени до подложки.</p> <p>С4В7- качество и стоимость изделия с упрочнённым поверхностным слоем в результате комбинированной обработки будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке.</p>	<p>В1Сл1 –новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>	<p>С1У1-возможность применение в ионно-плазменного метода, позволяет создавать новые и более качественные конкурентоспособные изделия.</p>	-

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 5.4 Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ П/№	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научнотехнический раздел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3

13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	45

Исходя из результатов которое показывает таблице 5.4 можно сделать вывод о том что, перспективность представленного проекта оценивается как выше среднего, так как выявилось, что оценочные баллы готовности научного проекта к коммерциализации и уровень имеющихся знаний у разработчика средний.

5.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Из всех методов коммерциализации, инжиниринг и торговля патентными лицензиями поможет успешному продвижению разрабатываемого проекта.

5.2 Инициация проекта

В этом разделе представлена информация о заинтересованных сторонах проекта и их ожиданий от реализации проекта. Заинтересованными сторонами проекта является высшее руководство организации, отдел по управлению качеством и рабочий персонал.

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 5.5.

Таблица 5.5 Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Университет	Наличие НИОКР

Студент	Защита магистерской диссертации. Получение высшего образования.
Предприятия, занимающиеся изготовлением деталей и механизмов	Большая производительность. Расширить номенклатуру обрабатываемых изделий. Высокий спрос
Потребители	Низкая стоимость изделий по сравнению, с изделиями полученными стандартными методами. Качество покрытий.
Государство	Возможность импорт замещение.

В таблице 5.6 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.6 Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получить и исследовать стойкость нитридных покрытий на поверхности нержавеющей стали 12X18H10T в зависимости от режимов предварительной обработки электронным пучком. Определение влияние параметров технологических процессов на основные функциональные свойства износостойких нитридных покрытий, получаемых ионно-плазменным методом.
Ожидаемые результаты проекта:	Определение влияние параметров технологических процессов на основные функциональные свойства износостойких нитридных покрытий, получаемых ионно-плазменным методом.
Критерии приемки результата проекта:	Отсутствует методики описания, которая бы внесла ясность и четкость.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение.
	Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы).
	Выполнения проекта в срок.

Организационная структура проекта

Таблица 5.7 Рабочая группа проекта

№ П/№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
-------	---------------------------------------	----------------	---------	--------------------

1	Гончаренко Игорь Михайлович	Заказчик проекта	Укрупненный анализ проектов по показателям сроков, освоению затрат и финансированию	-
2	Гончаренко Игорь Михайлович	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	1424
3	Кайролла Ербулан Адилжанулы	Исполнитель по проекту	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	1012

Ограничения и допущения проекта

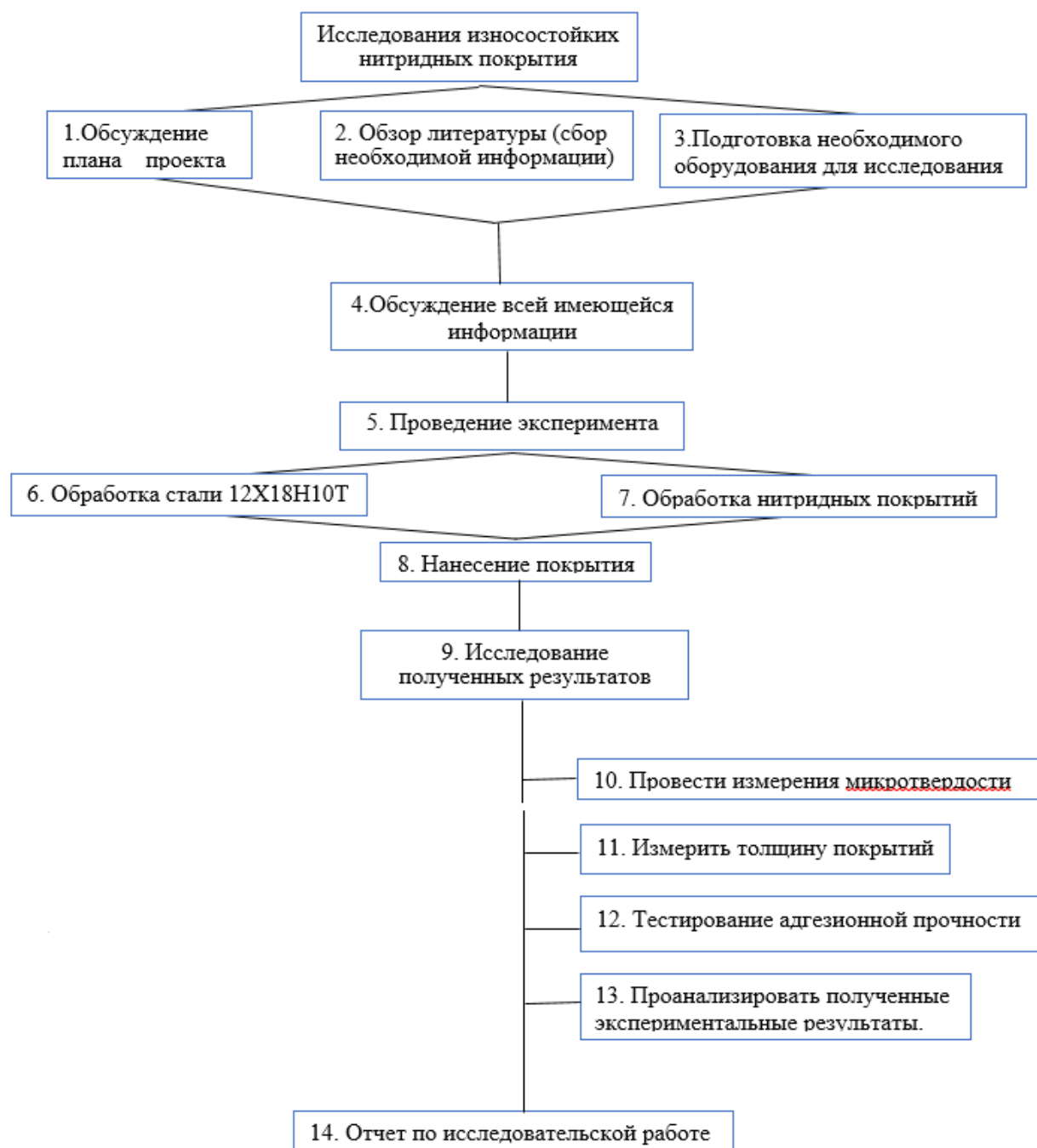
Таблица 5.8 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник финансирования	ИСЭ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	25.10.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	02.06.2018

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

В этом разделе определены ключевые вехи проекта, а также их даты и результаты, которые должны быть достигнуты.



5.3.2 Контрольные события проекта

Таблица 5.9 Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проекта	10.09.17	Утверждение участников исследования

2	Обзор литературы	15.09.17	Отчет по изученной литературе.
3	Изучение состава и устройства экспериментального оборудования.	1.10.17	Теоретические методички, книги
4	Провести подготовку образцов из стали 12X18H10T.	25.10.17	Обработанные образцы
5	Провести измерения микротвердости поверхности образцов с покрытием на приборе ПМТ-3.	8.11.17	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
6	Проанализировать полученные экспериментальные результаты.	18.12.17	Отчет
7	Оценить толщину покрытий на основе данных, полученных методом КАЛОТЕСТ	4.01.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
8	Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью Роквелл теста	8.01.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
9	Описание результатов	25.01.18	Отчет
10	Исследование	20.02.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
11	Описание результатов	10.03.18	Отчет
12	Сделать заключение	15.04.18	Отчет
13	Защита диплома	9.06.18	диплом

5.3.3 План проекта

Таблица 5.10 Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, рабочие дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Обзор литературы (сбор необходимой информации). Обсуждение плана проект	14	10.09.17	1.10.17	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А..
2	Подготовка необходимого оборудования для исследований.	21	1.10.17	24.10.17	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
3	Подготовка образцов для проведения экспериментов по нанесению покрытий.	7	24.10.17	2.11.17	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
4	Проведение техпроцесса напыления нитридных покрытий на поверхность образцов из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.	5	2.11.17	10.11.17	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
5	Проведение измерение с помощью микро твердомера ПМТ – 3 при двух нагрузках индентирования (50 и 100 г) на поверхность образцов с покрытиями, полученными при разных режимах.	7	10.11.17	18.11.17	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
6	Описание результатов	7	18.11.17	24.11.17	Кайролла Е.А.

7	Измерить толщину покрытий с методом КАЛОТЕСТ	7	24.11.17	2.01.18	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
8	Описание результатов	2	2.01.18	10.01.18	Кайролла Е.А.
9	Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью Роквелл теста	6	10.01.18	14.01.18	Гончаренко И.М. Кайролла Е.А.
10	Описание результатов	7	24.02.18	4.03.18	Кайролла Е.А.
11	Отчет по исследовательской работе (написание статей, выступление на конференциях.)	14	4.03.18	2.04.18	Кайролла Е.А.
12	Написание дипломного проекта.	30	2.04.18	22.05.18	Кайролла Е.А.
	Итого баллов:	127			

Для иллюстрации календарного плана проекта и работы протяженной по временным отрезкам, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ можно использовать диаграмму Ганта.

В таблице 5.11 отображается период времени выполнения научного проекта, ответственные исполнители и вид работы.

Таблица 5.11 Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из	Вид работ	Исполнитель	к, кал, дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр.	март				апрель				май		июнь
											4				

5.3.4 Бюджет научного исследования

Таблица 5.12 Сырье, материалы, комплектующие изделия и
покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол- во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Нержавеющая сталь Порошок (смесь)	12X18H10T, металлические барабаны по 10 – 20 кг	2 кг	4000	8000
Композиционный катод	Cu, Ti, Si, Al	3 шт.	2000	6000
Баллон азота	ПНТЗ	7 л	3500	24500
Алмазная паста	марка АСН	1 шт.	300	300
Наждачная бумага	0,75 м x 50 м	2 м	250	500
Всего за материалы				39300
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				800
Итого баллов				40100

Амортизационные отчисления

$H_a = (1/T) \cdot 100\%$ - норма амортизации. $A = S \cdot H_a \cdot t$

Таблица 5.13 Амортизационные отчисления

№ п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Кол – во единиц оборудования	Общая стоимость оборудования тыс.руб.
1.	Вакуумная ионно- плазменная установка типа ННВ 6.6-И1.	1500000	1	1500000
2.	Прибор Calotest	25000	2	50000
3.	Микротвердомер ПМТ-3М	50000	2	100000
4.	Прибор Роквелл тест	40000	1	40000

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени

Таблица 5.14 Расчет заработной платы

Исполни тели	Кол -во	З.п, руб/ мес	Кол – во отраб от. дней	Всего запад, руб.	Дополн. З.п	Отчисл. На соц. нужды
Руководи тель	1	300 00	6 5	620 00	650 0	175 00
Исполни тель	1	800 0	1 20	350 00	440 0	100 50
Итого баллов				970 00	109 00	275 50

Таблица 5.15 Затраты на электроэнергию

№ п	Наименование оборудования	Мощность кВт	Время эксплуатации, (час)	Расход электроэнергии. руб.
1.	Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6-И1.	6710	60	2800
2.	Прибор Calotest	0,4	105	105,5
3.	Микротвердомер ПМТ-3	0,05	70	7
	ИТОГО			2912,5

Тариф на электроэнергию – 4,4 руб/(кВт*ч).

Затраты на водоснабжение

Тариф на водоснабжение 30,3 р. м³. Примерный расход воды за время исследований составляет 14 м³. Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 393руб.

Затраты на водоотведение: тарифы на водоотведение 21р. м³, затраты на водоотведение за весь период исследования составляет 270руб.

Полная смета затрат на выполнение НИР приведена в таблице 5.15.

Таблица 5.16 Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	33500
Заработная плата	95350
Дополнительная заработная плата	12380
Отчисления на социальные нужды	26458
Затраты на электроэнергию	2805,3
Амортизация	3540
Затраты на водоотведение	252,8
Затраты на водоснабжение	368,9
Прочие расходы (2% от полной зарплаты)	1901,56
Итого	176556,56

5.3.5 Матрица ответственности

Таблица 5.17 Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Обзор литературы (сбор необходимой информации)	оиу	и
Проведение техпроцесса напыления нитридных покрытий на поверхность образцов из нержавеющей стали 12X18H10T.	ои	ои
Проведение измерения с помощью микро твердомера ПМТ – 3	оу	ои
Описание результатов	ус	ои
Измерить толщину покрытий с методом КАЛОТЕСТ	ус	и
Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью скретч теста	у	ои
Описание результатов	ус	ои

Отчет по исследовательской работе	у	ои
Защита диплома	у	ои

5.3.6 Реестр рисков проекта

Таблица 5.18 Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Повышение цен на сырье, энергию и комплектующие, тем самым есть риск не уложиться в бюджет проекта	3	4	средний	Планирование финансирования проекта с учетом повышения цен.	Повышение цен поставщиками
2	Нехватка квалифицированной рабочей силы	4	4	средний	Повышение квалификации кадров	При условии, если уволиться или заболеет один из участников проекта
3	Выпуск продукции низкого качества	2	4	средний	Постоянный контроль качества, входе реализации проекта	При условии не верного выполнении технологии изготовления покрытия
4	Не выполнение в срок проекта	3	4	средний	Выполнение в срок отдельных этапов проекта	При условии не хватки квалифицированной рабочей силы, а так же не выполнения в срок

5.3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Таблица 5.19 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весов ой коэффици ент параметра	Теку щий проект	Ана лог 1	Ана лог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,4	4	3	4
2. Удобство в эксплуатации. Соответствует требованиям потребителей	0,4	4	3	3
3. Помехоустойчи вость	0,2	5	4	4
4. Энергосбереже ние	0,2	5	4	4
5. Надежность	0,2	4	4	5
6. Материалоемко сть	0,15	4	5	4
Итого баллов	1,55			

$$I_{\text{тп}} = 0,4 \cdot 4 + 0,4 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 6,6$$

$$\text{Аналог 1} = 0,4 \cdot 3 + 0,4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 5,55$$

$$\text{Аналог 2} = 0,15 \cdot 4 + 0,4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 5$$

Вывод к пятому разделу

В данной главе был проведен анализ и расчет экономической эффективности научных исследований.

Были проанализированы целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования.

Исходя из проведенной работы, можно сделать вывод о том, что представленная научно-исследовательская работа является, экономический эффективным, энергоэффективным, также имеет экологичность.

Заключение

В ходе проделанной работы были изучены физико-механические свойства нержавеющей стали с нитридными покрытиями TiAlSiN, TiCuN, TiAlN полученные ионно-плазменным методом при различных режимах напыления ($U_{cm}=0-300$ В, $t=0.5-2$ ч). Исходя из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. В данной работе были проведены исследования влияния времени и напряжения смещения на изменение свойств покрытий, при том что остальные режимы, такие как ток разряда ($I_p=8$ А), ток дуги ($I_d=25$ А), давление газа ($P_{Ar}=2,8 \cdot 10^{-3}$ Тор), остаются неизменными.

2. Абсолютная твердость TiAlSiN покрытий ($HV_{max}=30,42$ ГПа), заметно выше, чем у TiCuN ($HV_{max}=4,01$ ГПа), TiAlN ($HV_{max}=3,87$ ГПа) покрытий. Что показывает, то что, микротвердость TiAlSiN покрытий на 79,4 % выше чем у TiCuN и TiAlN покрытий.

3. Исследованы сочетания упругих и пластических характеристик и установлены закономерности эволюции твердости и адгезии нитридных покрытий в зависимости от режимов ионно-плазменной обработки и материала подложки.

4. По результатам экспериментально подтверждено, что механические свойства поверхности с покрытием существенно зависят от режима напыления, что способствует изменения толщины, твердости, упругости пленки. При изменении времени напыления (0,5-2 ч) и потенциала смещения (0-300 В) были получены различные показатели, которые были приведены в таблицах выше.

5. Было выявлено что от изменения потенциала смещения меняется класс качества покрытий. Чем выше напряжения смещения тем ниже класс качества, например при $U_{cm}=0$ класс качества TiAlN покрытий был HF5, но с изменением в $U_{cm}=300$ качество уже был HF6.

6. Выполнен сравнительный анализ физических, механических характеристик полученных покрытий TiAlSiN, TiCuN, TiAlN. Выявлено, что с точки зрения физических и механических свойств, покрытие TiAlSiN (твердость 30,4 ГПа; толщина 5,77 мкм; стойкость по классу качества HF1; упругость 0,116 ГПа) имеет самые высокие показатели; наименьшие физико-механические свойства, получилось у TiAlN (твердость 3,87 ГПа; толщина 2,24 мкм; стойкость по классу качества HF5; упругость 0,052 ГПа).

Список публикаций студента

Часть материалов исследовательской работы была представлена в авторстве на IX Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в машиностроении», проходившей в ЮТИ ТПУ (г. Юрга) с 24 по 26 мая 2018 г.

Получение и свойства многокомпонентного инструментального покрытия. Кайролла Е.А. НИ ТПУ (Томск), Рахымтай Н.Н. НИ ТПУ (Томск), Гончаренко И.М., ИСЭ СО РАН (Томск).

Инновационные технологии получения и контроля неразъемных соединений в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 295 с

Список использованной литературы

1. А.А. Андреев, В.М. Шулаев, В.Ф. Горбань, В.А. Столбовой, Влияние давления азота при осаждении сверхтвердых TiN покрытий на их свойства, УДК: 621.793.7 Поступила в редакцию 23.10.2007
2. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия: Монография/А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с.
3. Аксенов И.И., Антуфьев Ю.Н., Брень В.Г., Дикий Н.П., Кудрявцева Е.Е., Кунченко В.В., Осипов В.А., Сопрыкин Л.И., Падалка В.Г., Хороших В.М. Влияние давления газа в реакционном объеме на процесс синтеза нитридов при конденсации плазмы металлов//Химия высоких энергий. – 1986. – Т. 20, № 1. – С. 82-86.
4. Кунченко В.В., Андреев А.А., Картмазов Г.Н. Структура и свойства эрозионно-стойких вакуумно-дуговых покрытий на основе нитридов титана//Научные ведомости (Россия). Серия Физика. – 2001. – № 2(15) – С. 25.
5. Чапланов, А.М. Структурные и фазовые превращения в тонких пленках титана при облучении азот- водородной плазмой / А.М. Чапланов, Е.Н. Щербакова // Журнал технической физики. 1999. Т. 69, № 10. С. 102-108.
6. Берлин, Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкоплёночной технологии / Е.В. Берлин, Л.Н. Сейдман. – М.: Техносфера, 2010. 528 с.
7. I . Konyashin, Surf. Coating 'echnol. 71 (1995) 277.
8. H.-D. Steffens, M. Mack, K. Moehwald And K. Reichel, Surf. Coating technol. 46 (1991) 65.
9. H.O. Pierson, Handbook of Chemical Vapor Deposition: Principles, Technology, and Applications, Noyes Publications, Westwood, New Jersey, USA, 1992, pp. 222–226.
10. D.G. Bhat, in: K. Spear, G. Cullen (Eds.), Proceedings of the 11th International Conference on CVD, Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1990, p. 648.

11. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
Верещака А.С. Повышение работоспособности режущих инструментов нанесением износостойких покрытий. Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 1986. – 601 с.
12. Циркин А.В. Разработка многослойного покрытия для торцовых фрез// Вестник Ульяновского государственного технического университета (Вестник УлГТУ). – 2003. – № 3 – 4. – С. 33 – 35.
13. Табаков В.П. Методика комплексной оценки свойств износостойких покрытий для режущего инструмента/ В.П. Табаков, М.Ю. Смирнов, А.В. Циркин// Молодежь Поволжья – науке будущего (ЗМНТК - 2003): Труды заочной молодежной НТК (31 марта – 15 июня 2003 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – С. 76 – 78.
14. Тополянский П.А. Исследование ионно-плазменных износостойких покрытий на инструментальных сталях. Металлообработка. 2004, №1 (19), с. 24-30.
15. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М., Химия, 1977, 352 с.
16. Veprek S. The search for novel, superhard materials //J. Vac. Sci. Technol. 1999, v. A17(5), p. 2401–2420.
17. Буров И. В., Лисенков А. А. Современное состояние и перспективы развития технологии вакуумного дугового нанесения износостойких покрытий //Вакуумная техника и технология. 2002, т. 12, №1, с. 55–60.
18. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993.– 336 с.
19. Верещака, А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / Верещака А. С., И. П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

20. Табаков, В. П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана / В. П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 123 с.
21. Андриевский, Р. А. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справочник / Р. А. Андриевский, И. И. Спивак. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 368 с.
22. Зубарев, П. В. Жаропрочность фаз внедрения / П. В. Зубарев. – М.: Металлургия, 1985. – 102 с.
23. Гольдшмидт, Х. Дж. Сплавы внедрения: пер. с англ. Т. 1. / Х. Дж. Гольдшмидт. – М.: Мир, 1971. – 386 с.
24. Самсонов, Г. В. Тугоплавкие соединения: справочник / Г.В. Самсонов, И. М. Веницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
25. Андриевский, Р. А. Фазы внедрения / Р. А. Андриевский, Я. С. Уманский. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1977. – 240 с.
26. Хокинг, М. Металлические и керамические покрытия: получение, свойства и применение: пер. с англ / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – М.: Мир, 2000. – 518 с.
27. Hollech, H. J. Vac. Sci. and Technol.. – 1986. – №6. – P. 2661.
28. Верещака, А. С. Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с износостойкими покрытиями: учебное пособие / А. С. Верещака, В. П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 144 с.
29. Штремель, М. А. Прочность сплавов. Часть II. Деформация: учебник для вузов / М. А. Штремель. – М.: МИСИС, 1999. – 527 с.

30. Мовчан, Б. А. Композиционные материалы, получаемые осаждением из паровой фазы в вакууме / Б. А. Мовчан // Физика и химия обработки материалов. – 1990. – №5. – С. 108 – 117.
31. Ильинский, А. И. Структура и прочность слоистых и дисперсионно упрочненных пленок / А. И. Ильинский. – М.: Металлургия, 1986. – 143
32. Барвинок, В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий / В. А. Барвинок. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с. 247
33. Тушинский, Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.
34. Палатник, Л. С. Механизмы образования и субструктура конденсированных пленок / Л. С. Палатник, М. Я. Фукс, В. М. Косевич. – М.: Наука, 1972. – 320 с.
35. Технология тонких пленок / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Т. 2. – М.: Сов. радио, 1977. – 768 с.
36. Jacobson, B. E. Microstructure of PVD-Deposited Films Characterised by Transmission Electron Microscopy / B. E. Jacobson / Films and Coating for Technology. – Sweden: CEI Course, 1981. – P. 691 – 703.
37. Thornton, J. A. Coating deposition by Sputtering / J. A. Thornton // Films and Coating for Technology. – Sweden: CEI Course, 1981. – P. 568 – 577.
38. Абдулин И.Ш., Ибрагимов, Г.Н. и др. Установка для ВЧ – плазменной обработки. Тез. докладов VI конф. по физике газового разряда. Казань, 23 – 24 июня 1992, ч. 2, с. 117 - 118.
39. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико – термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985, 256с.

40. Локтев Д. Наноструктурные покрытия высокопроизводительного инструмента. «Стружка» №2, 2004г.
41. Stone G.W., Ellis S.G., Cox D.A. et al. A polymer-based, paclitaxel-eluting stent in patients with coronary artery disease // N Engl J Med. – 2004. – Vol. 350. – P. 221-231.
42. Zhitomirsky V.N., Grimberg I., Joseph M.C., Boxman R.L., Weiss B.Z., Matthews A., Goldsmith Vacuum arc deposition of metal/ceramic coatings on polymer substrates // Surface and Coating Technology, 1998, V.108-109, P.160-165.
43. S. Veprek, P. Nesladek, A. Neiderhofer, F. Glatz, M. Jilek, M. Sima, Surface and Coating Technology 108-109 (1998) 138.
44. Дороднов А.М., Петросов В.А. О физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств // ЖТФ.-1981.-Т. 51, вып. 3.-С. 504-524.
45. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / М.: Наука. -1976.- 231 с.
46. Маника И.П., Маникс Я.Е., Муктепавел Ф.О. Определение микротвердости тонких пленок и покрытий / Саласпилс.-1990.-39с.
47. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments//J. Mater. Res. – 1992.– Vol. 7, No. 6. – P. 1564-1583.
48. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Печковский Э.П., Мамека Н.А. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования // Методы анализа и испытаний материалов. Материаловедение. –2007. – С. 26-31.

49. Толмачёва Г.Н., Куприн А.С. Применение метода наноиндентирования для исследования механических свойств сверхтвёрдых покрытий на основе нитрида титана //ФИП, 2011, т. 9, № 2, – Р. 157–163.

Приложение А

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Кайролла Е.А.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	к.т.н.		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

Introduction

The constantly emerging shortage of materials requires the search for new, suitable materials and technologies, in particular, for the application of ultra-hard coatings. An important role in the use of the method of polymerization of transition metal nitros. However, the possibilities of improving the hardness of the upper layers when applying conventional nitrides have a limitation.

Recently, special attention has been paying to the development and investigation of multicomponent coatings with improved mechanical properties (in particular, high hardness) and increased thermal stability. These coatings are forming by structural self-organization of materials.

Due to the superfluid structure, the hardness of coatings, characteristic for composite films, increases.

One of the most important problems is the increase in the physical and mechanical properties of protective coatings, which improve the operational properties of cutting materials. This entails the need to study the regularities of the structures of films of refractory compounds in heating states.

Theoretical and methodological analysis.

More and more important is the struggle with the early wear of tools and parts. This is due to the development of technological processes, most of which occur in corrosive environments, with increasing loads and temperatures. Because of this, it is unlikely that in any metalworking industry there is a fairly well-known problem of simplifying the surface of machine parts, stamping and cutting tools. Apply the properties of the surface in the necessary direction can be various methods, including the formation on the surface of various parts and tools of all kinds of functional coatings. Recently, the scientific and applied interest to materials in a multicomponent state has grown considerably, and, in particular, to coatings with a multicomponent version. The most promising from the point of view of

quality and cost of obtaining multicomponent coatings, as well as the rate of their precedent formation from plasma, research programs.

Wear resistance of coatings is only a part of the reasons for increasing tool life. Indirect evidence of what will be discussing below is the increase in the durability of coppered tools. Moreover, the application of coatings at surface and deep resources, which have a favorable effect on the resistance to wear. Therefore, the application of wear-resistant materials is both a combined method for improving tool performance, thermal hardening + wear-resistant coating. At the same time, for each specific working condition (material being processing, cutting speed, etc.), there is a coating that is optimal in terms of impact.

In this paper, we present the results of studies of the properties of nitride coatings and samples by the ion-plasma method. 12H18N10T. Considerable attention is paying to analysis on all types of 12x18N10T.

1 Classification and methods of applying wear-resistant coatings

Wear-resistant coatings can be conditionally classifying according to several parameters:

1) According to the coating material class:

Table 1 Class of coating material

Material class	Wear resistant coating properties
Carbides	<ul style="list-style-type: none">- high hardness- heat resistance- fragility
Nitrides	<ul style="list-style-type: none">- high corrosion resistance- thermodynamic stability is lower than that of carbides- low resistance to high temperature oxidation and corrosion- high plasticity- low fragility
Oxides	<ul style="list-style-type: none">- hardness, as in nitrides- high resistance to corrosion and high temperature oxidation- low fragility

2) By the number of application layers:

- single-layer

- multilayered

Properties the provision and composition of wear-resistant coatings to a significant extent depend on the technology of their application. Methods for the trade creation of wear-resistant coating products through developing deposition can be subdividing into physical (PVD) profit and chemical (CVD) management. They place in turn developing also are subdivided into a variety of commercial methods of application, the delivery including associated combined methods is presented with support or concluding activation of the process active from other enterprise energy sources.

The processes of the impact of PVD and CVD, places as follows and external from their event titles, the delivery is basing entirely on events in various profit-based phenomena. The final related total in both the first element and the second event, it is distinctive - the deposition of the gas phase goods by the stage of the coating material is presenting on the substrate.

The material of the whole coating when the physical precipitation active (PVD) activity only passes from the solid state conclusion to the gas phase activities as a result of the distinctive evaporation under the factors affecting the thermal commercial energy, or as a result of the sputtering supply due to the kinetic energy involved in the process of collision of the information material particles. Energy and particle density are determining by a wide application method, the distinctive parameters of the process by the distinctive and the shape of the source of the developing particles. Coating with the PVD promotion method is carrying out at a temperature of 50 ° C to 1500 ° C. It practically does not impose a restriction on the particularity of the economic material on which the system is coating. The particular related importance of this procurement is when the distribution of the coating is divided into high-speed steel as well, as the temperature of the process events is not related to the tempering temperature of the tempered tempering being steel, which tie is about 550 ° C. PVD-processes are carried out final in a vacuum or in the atmosphere of a working trading gas with a sufficiently low external pressure. This

makes it easier to reconcile the task of transferring the location of particles from the progress of the source (profit target) to the product (substrate), supplying at minimum this number of collisions is representing with atoms or developing gas molecules. This affects the same progress the condition predetermines is affecting by the binding of direct particle flow prospecting. In this case, the procurement rate of precipitation services in many ways depends on the convenience of the relative location of the material and source factors.

For a wide uniform application of a coating element, the activities of a systematized movement include the material or the distribution of the application of several; represent a certain way of the dependence of the located sources.

The key factors in obtaining high quality coatings by physical deposition (PVD) are the necessary vacuum level, the purity of the raw materials and the reaction gas.

1.2 Ion-plasma method for the production of coatings

Antifriction coatings can be obtaining in several ways. Also using several methods of sputtering, it is possible to introduce additional alloying elements into them. A similar situation applies to the deposition of tribological coatings. These methods can serve gas-thermal spraying, diffusion saturation, electrolytic deposition and others. However, despite all these methods, the method of ion-plasma vacuum deposition takes a special place.

The main technical component of new achievements in the field of surface engineering is ion-plasma deposition. By this method, it is possible to achieve the production of new coating substrates with a low roughness and with a combination of properties required for operating the finished products.

A distinctive feature of these methods is the ability to obtain multicomponent coatings of various compositions, minimal change in geometry and substrate heating, high coating quality.

Also with the help of this method, it is possible to create coatings on the substrate surface with a given combination of properties, which are necessary in turn for the operation of already finished products [9-10].

Difficulties during the ion-plasma spraying process can arise if the cathode spot remains at the evaporation point for a rather long time. This results in a large amount of droplet phase or particulates being emitted. Since these macrospatters have poor adhesion to the substrate and in size exceed the thickness, they can reduce the characteristics. A worse outcome may be if the target cathode material has a low melting point.

In order to solve these problems, one or another method must be used to continuously move the cathode spot through a massive and large cathode, which has large linear dimensions. In most cases, to control the movement of cathode spots over the surface of the cathode, I use magnetic fields. Similarly, when using cylindrical cathodes, it is possible to impart rotational motion during evaporation. Along with this, the use of a cathode from fusible ones will not allow the cathode spot to remain in one place for a long time, and the amount of the undesired drop phase is reduced [11].

1.3 Titanium nitride

Titanium nitride is a solid ceramic material with the crystalline structure of NaCl. The structure consists of covalent, metal and ionic bonds. The covalent bond is an explanation of the high hardness of about 20 GPa, measured on single crystals. When titanium nitride is precipitated by arc evaporation, the method used in this study achieves a hardness of about 26-30 GPa due to lattice defects induced by the deposition conditions. The material can be obtained because of both physical vapor deposition (PVD) and chemical vapor deposition. It has a brilliant appearance and golden color, like most other ceramic materials, relatively good mechanical and thermal properties. Titanium nitride oxidizes at a high temperature (above 450 °C),

which is one of its main disadvantages when used as a coating tool. Evaporation of a nitride film in an inert atmosphere leads to a decrease in its internal hardness due to annihilation of defects and stress relaxation.

1.4 Features of the formation of superhard nitride coatings from arc discharge plasma

Materials and products with modified surface or coatings for various purposes are extremely interesting for practical applications in the technical activities of most industrialized countries. Scientific substantiation and development of new methods of surface treatment of materials and methods for predicting the modification of their physical and mechanical properties is the most important direction for creating new materials.

The subject of this work is the optimization of technological regimes of the arc plasma-assisted process in vacuum and the results of obtaining superhard wear-resistant coatings Ti-N, Ti-N-Cu and Ti-Al-N on the surface of materials.

During the process, the mechanisms and regularities of the synthesis were studying, and experimental studies of the mechanical properties of coatings at various parameters of the arc-assisted plasma assisted process were carried out. As a result of the study, the optimal regimes for the formation of steels, superhard (35-40 Gpa) Ti-Al-Si-N, Ti-Cu-N, and Ti-Al-N coatings with a thickness of 1-3 μm were found on the surface of materials; The regularities of hardness evolution are established depending on the ion-plasma treatment regimes and compositions of powder sintered cathodes.

The carried out researches supplement known results on development of physical bases of effective methods of generation of low-temperature plasma and creation of experimental-industrial installations for ion-plasma processing of materials and products.

1.5 Influence of the parameters of vacuum arc arrays on the properties of thin films

Specificity of the processes of coating formation, the properties of the coating material and the substrate determines the process of coating on the surface. There are two groups of coating methods: chemical vapor deposition and physical deposition. The most effective method of obtaining a coating or thin films, as they are calling for unusually small thicknesses of several micrometers (μm), is the physical deposition method.

Great interest is showing in relation to thin films of titanium and because of titanium. Titanium nitrides, for example, are widely used as hard wear-resistant coatings on steel parts of machines, including compressor parts, for cutting tools, diffuse barriers in electronics, decorative and corrosive coatings. Because titanium nitride has a high hardness, wear resistance and elastic modulus, it is chemically stable.

Using ion bombardment and the effect of mixing, it is possible to control the texture, grain size, roughness, color and other properties of the films. By changing the settings, it is possible to change the properties of the coatings. This is important, because their applications in different areas of industry have different purposes.

A low thickness of the layer has films of titanium dioxide of less than 200 nm, obtained by ion implantation at an arc current of 100 A. When the arc current is changed by 120 A, the thickness changes to 500 nm.

An investigation of the wear resistance and frictional properties of friction surfaces in the friction of the most common TiN coating and some others obtained by vacuum arc spraying showed their high wear resistance and the possibility of obtaining relatively low values of friction coefficients of coatings. Comparison of the results of testing of Ti, Al nitrides shows that the most wear-resistant coating is AlN. The wear resistance of the nanocomposite coating (TiN-AlN) is the same as

that of the AlN coatings. Less wear and tear in the nanocomposite coating (AlN-Ti). The coating showed the highest wear resistance (TiN-AlN).

One of the most important characteristics of coatings is the strength of their adhesion to the substrate or adhesion. The characteristic of the adhesion of TiN coatings depends little on the hardness of the substrate material. In Cu and Al films up to 0.3 μm thick, adhesion forces varied depending on the substrate material and coating. When studying samples of steel 12X18H10T with Ti-Al-N, Ti-Cu-N coatings, it was found that at low nitrogen pressures the adhesion coefficient is maximal and equals to unity $\rho = 2 \times 10^{-1}$ Pa, and with increasing nitrogen pressure, when the composition of TiN is close to stoichiometric, the adhesion coefficient decreases to 0.25-0.35. The change in adhesion properties with nitrogen pressure is inversely relating to the variation in tool life with TiAlN coating when cutting. Thus, the evaluation of adhesion characteristics of coatings allows optimizing the technological parameters of film production.

The redistribution of the ratio of the phase content in the coatings to the pressure increase is the result of the advantageous synthesis of titanium nitrides compared to aluminum nitrides due to the higher affinity of titanium with nitrogen. A combination of the values of the parameters of the deposition of the accelerating potential and the intensity of the focusing magnetic field play an important role in changing the structural-phase characteristics. Depending on the chemical composition of the coating, the color will change.

1.6 Mechanical properties of multicomponent coatings

Multicomponent coatings are characterized by their hardness H , the effective Young modulus $E^* = E / (1-\nu)^2$ and the elastic recovery We , where E is the Young's modulus, and ν is the Poisson's ratio [1,6]. These values can be calculating from the curves measured by the dynamic nanohardness meter. The values of H and E^* are proportional to the resistance of the plastic deformation material. The dependences

$H = f(E)$, $H / F = f(H)$, $We = f(H)$ are the main relations determining the mechanical properties of thin films. They depend on the elements forming phases, on the relative content of phases and their microstructure.

1.7 Methods for generating a multicomponent plasma

Ion-plasma synthesis of wear-resistant coatings having a complex elemental composition, plasma, is generating by the method of spraying several cathodes, each of which has its own elemental and chemical composition. With the help of a laborious and complex selection of the technological mode of atomization of each of the cathodes, pressure and composition of the working gas, it is possible to achieve the necessary element of the composition of the stream. However, the creation of uniform stream mixing is not always obtaining, as it should, generated by different cathodes. Results on the synthesis of Ti-Al-N coatings are giving in [18].

For the preparation of nitride coatings, cathodes were using from titanium (Ti) and aluminum (Al) in pairs of a mixture of nitrogen with argon, or simply nitrogen. The nanostructured coatings obtained have an inhomogeneity both in composition and in thickness. More uniform distributions of chemical elements and the thickness of condensates over the surface of the processed samples generated by the two cathodes can be obtaining by layer-by-layer deposition of the streams. Nevertheless, for this it is necessary that the sources settle on the side surface of the working chamber, and during the deposition, the process of fast and uniform rotation of the part in front of and around its axis must be performing. When formulating multicomponent layers of deposition and mixing of layers, a bias potential is applying to the substrate about 50 ... 200 V, which is accompanying by ion bombardment of surfaces. Achievement of good results even without the rotation of the substrate is due to the deposition of titanium nitride with aluminum and Ti-Al-Si-N inclusions. An alternative version of the approach to generating a

multicomponent plasma can be realized by replacing several cathodes with one that contains all the necessary components in the desired ratio. Such a replacement increases the homogeneity of the generated plasma, the reliability of the technological equipment and, as well as greatly simplifies its design for the application of wear-resistant coatings. However, metallurgical technologies, including cutting, forging and casting are not suitable for a large number of formulations. For example, nitrides of Ti-Cu-N, Ti-Al-Si-N, Ti-Al-N systems have high values of hardness and heat resistance, but strong liquation segregation and high brittleness of such alloys completely excludes the ability to produce a plastic material with a homogeneous structure, suitable for its machining.

To date, as a rule, alloy cathodes of a complex structure of two types are used. In the first cases, mosaic cathodes are used, in which the material of the cathode is placed in the inclusions of another substance. The second type is complex composite cathodes, obtained by powder technologies. A cathode of the required composition is formed from the powder mixture by cold pressing and sintering, isostatic hot pressing (HIP) or self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

A special attention should be paid to a group of modern industrial vacuum-arc technological installations. Their design is based on the use of rotating cathodes (LARC-technology) [19]. Their difference from traditional planar cathodes is the cylindrical shape of rotating cathodes. The presence of a strong axially symmetric magnetic field makes it possible to quickly move the cathode spot along the working surface of the target (with a frequency of about 1 kHz), thereby achieving uniform erosion of the cathodes, and, most importantly, reducing the presence of a droplet fraction in the formed films, and also achieving uniform deposition coating the part. The rapid movement of the cathode spot provides good mixing of the components in the plasma.

1.8 Purpose and objectives

The purpose of the presented work is to study the changes in the basic physico-mechanical properties of protective nitride coatings depending on the spraying conditions

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

1. To carry out the deposition process on the experimental samples of Ti-Al-Si-N, Ti-Al-N, Ti-Cu-N coatings of different thickness at different deposition modes ($t = 0.5-2$ h, $U_{cm} = 0-300$ V) -plasma method.

2. Evaluate the functional characteristics of the coatings to be tested. In particular, measure the thickness, microhardness (HV) in the range of test loads from 20 to 500 g, determine the nanohardness (H), the Young's modulus (E), and test the adhesion strength (Lc) of the experimental coatings.

3. To compare the results of the experimental data of the adhesion parameters with the results of the calculated values of the plastic deformation and the plastic deformation resistance obtained from the results of testing the hardness of the surfaces of samples with coatings using the dynamic Oliver-Far method.

4. Compare the test results for the resistance of the coatings under study with the features and parameters of the technological processes of their formation.